

**Ю. І. Грицюк**

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Розроблено систему управління якістю програмного забезпечення (ПЗ), яка дає змогу визначити стан його якості на кожному ієрархічному рівні системи з урахуванням вартості розроблення, а також надає можливість встановити потенційні витрати для переходу системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого. З'ясовано, що якість ПЗ як багатопланове поняття можна виразити адекватно тільки деякою структурованою системою характеристик та атрибутів, яку прийнято називати моделлю якості програмного продукту. Для оцінювання якості ПЗ було використано комплекс критеріїв і агрегованих показників, які максимально його характеризують насамперед стосовно функціональних можливостей і варіантів використання. Встановлено, що модель якості – головний атрибут системи оцінювання якості ПЗ, позаяк визначає, які характеристики якості продукту потрібно враховувати при встановленні його властивостей. Рівень, за якого ПЗ задовольняє заявлені та опосередковані потреби різних зацікавлених сторін і, в такий спосіб, забезпечує його значущість для них, є саме тими властивостями, що відображено в моделі якості, яка класифікує їх на характеристики та підхарактеристики. Розроблено метод відбору напружених варіантів стану системи якості ПЗ за вхідними критеріями чи агрегованими показниками, що дає змогу визначити поточний стан системи управління якістю ПЗ з урахуванням вартості його розроблення. Розроблено метод вибору оптимального варіанту системи управління якістю ПЗ з множини допустимих альтернатив, яка враховує структуру критеріїв і агрегованих показників на кожному ієрархічному рівні системи. Встановлено, що задача вибору оптимального варіанту системи управління якістю ПЗ з урахуванням таких критеріїв, як портативність продукту та зручність його супроводу, як безпека продукту та його сумісність, а також надійність роботи продукту та зручності його використання, як функціональна придатність продукту та ефективність виконання належить до задач багатокритеріальної оптимізації. Наведено приклад реалізації системи управління якістю ПЗ, що дає змогу зрозуміти сутність зазначеного методу вибору оптимального її варіанту, а також методу відбору напружених варіантів стану системи якості ПЗ за двома критеріями чи агрегованими показниками.

Ключові слова: модель якості програмного продукту; критерії та показники якості; ієрархічна структура; система управління; методи прийняття управлінських рішень.

Вступ / Introduction

Під якістю програмного забезпечення (ПЗ) розуміють набір властивостей продукту (сервісу або програми), що сукупно характеризують його здатність задовольнити встановлені або передбачувані потреби замовника, які він висловив у вигляді його майбутніх можливостей [24]. Поняття якості ПЗ – багатопланове, тобто його можна виразити адекватно тільки деякою структурою характеристик і атрибутів, яку прийнято називати моделлю якості програмного продукту [27], [28].

В різних літературних джерелах [38], [39] поняття якості програмного продукту має різні інтерпретації залежно від конкретних його можливостей. Тому якість ПЗ – це відносне поняття, що має сенс тільки при врахуванні реальних умов його функціонування. Водночас, користувачькі вимоги, пред'явлені до якості ПЗ, формують залежно від галузі застосування й конкретного

його призначення [25], [26]. Для оцінювання якості ПЗ використовують комплекс критеріїв і показників, які максимально його характеризують, насамперед щодо функціональних можливостей і варіантів використання [26], [31]. Під критеріями якості ПЗ розуміють деякі ознаки, які можна застосовувати як для його оцінювання й визначення, так і для класифікації певних характеристик чи атрибутів [9]. Водночас як показники якості ПЗ – це кількісна характеристика однієї або декількох властивостей програмного продукту, що входять до його якості, розглянута стосовно певних умов його розроблення, експлуатації або використання [4].

Процес розроблення ПЗ (англ. *Software Development Process*), що містить складні технологічні операції та процедури, потребує постійного контролю за належним виконанням користувачьких вимог до нього на кожному етапі реалізації програмного проекту [28]. Моніто-

ринг за показниками якості ПЗ протягом всього періоду його розроблення та під час подальшого супроводу надає керівнику проекту можливість контролювати цей процес і, тим самим, покращувати готовність поточних продуктів проекту до їх експлуатації [11]. Методи забезпечення контролю якості ПЗ на всіх етапах реалізації програмного проекту [14] спрямовані на підвищення ступеня задоволення як замовників ПЗ, так і безпосередніх його користувачів від отриманих його можливостей та зручності використання у виробничих умовах [36].

Управління якістю ПЗ (англ. *Software Quality Management*) – це процес, спрямований на розроблення продукту проекту з дотриманням специфікації вимог до нього, щоб найкраще забезпечити відповідність продукту стандартам якості, очікуваним замовником, а також він має відповідати будь-яким необхідним нормативним вимогам і вимогам розробника, якщо вони як такі є [24]. Професійний підхід до управління якістю ПЗ базується на тому, що його якість – це чітко визначена величина, яку можна виміряти й проконтролювати, поза як вона піддається як регулюванню, так і удосконаленню з набуттям досвіду керівника проекту [37]. Знання поточних значень показників 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 [13], [46]. Також такі знання дають можливість керівнику проекту стежити за динамікою поточних значень показників якості ПЗ, завдяки чому можна прогнозувати й планувати термін завершення програмного проекту або момент переходу до наступного етапу його реалізації [39].

Система якості ПЗ (англ. *Software Quality System*) – набір складових ієрархічної структури, відповідальності, процедур, процесів і ресурсів, що сукупно забезпечують загальне управління якістю програмної продукції [24], [42]. Під час розроблення ієрархічної структури системи управління якістю ПЗ за основу приймають набір моделей для отримання агрегованих показників якості ПЗ, кожен з яких формують за відповідним правилом, що відображає певні особливості надання переваг відповідним критеріям [9]. Також такі моделі мають достатньо повно відображати основні особливості функціонування системи управління якістю ПЗ та забезпечувати гнучкість прийняття управлінських рішень [34]. 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, використавши при цьому в достатньому обсязі як всі функціональні можливості системи управління, так і допустимі варіанти її використання [6].

Для розроблення ієрархічної структури системи управління якістю ПЗ здійснюють декомпозицію метамоделі на складові частини з доведенням їх до функціональних моделей певного ієрархічного рівня зі своїми формальними постановками відповідних завдань управління [7]. Також тут розробляють їх математичне фор-

мулювання, алгоритми розв'язання й програмну реалізацію, а, на завершення, формують відповідні процедури прийняття управлінських рішень для кожного завдання з узгодженням отриманих рішень на загальносистемному рівні та моніторингом їх виконання [42].

Внаслідок декомпозиції кожного завдання комплексний показник ефективності функціонування системи управління якістю ПЗ апроксимують певним набором часткових агрегованих показників, які сукупно відображають набір бажаних техніко-економічних показників діяльності ІТ-компанії, для отримання очікуваних значень яких складають і вирішують відповідні локальні завдання [33]. Бажання врахувати основні особливості функціонування системи управління якістю ПЗ і негативні прояви на неї як внутрішніх чинників, так і зовнішнього часто агресивного середовища призводить до значної розмірності математичних моделей і складності інтерпретації отриманих розв'язків задач [2]. Для вирішення цієї проблеми застосовують концепцію багатомодельності [3], [47], зорієнтовану на створення конструктивного математичного опису локальним підсистем управління якістю ПЗ у вигляді набору компактних і працездатних моделей незначної складності [1], об'єднаних між собою загальною метою управління.

Не претендуючи на кардинальні зрушення в наявній системі управління якістю програмних продуктів, 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 розроблення адекватної системи управління якістю ПЗ методом ієрархічної структури критеріїв, обґрунтування критеріїв і агрегованих показників його якості та їхньої важливості для кожного з ієрархічних рівнів, що дасть змогу визначити як часткові стани якості продуктів проекту з урахуванням вартості їх розроблення, так і загальний стан якості програмного продукту.

Об'єкт дослідження – система управління якістю програмного забезпечення.

Предмет дослідження – методи і засоби розроблення системи управління якістю ПЗ на підставі моделі його якості, затвердженої стандартом ISO/IEC, що дасть змогу визначити стан його якості та потенційні витрати для переходу від одного стану до іншого.

Мета роботи – розробити систему управління якістю ПЗ, яка б дала змогу визначити стан його якості на кожному ієрархічному рівні системи якості з урахуванням вартості розроблення, а також встановити потенційні витрати для переходу системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого.

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 встановити характеристики та підхарактеристики системи якості, а також визначити комплекс критеріїв, які максимально будуть її характеризувати насамперед щодо функціональних можливостей і варіантів використання;
- розробити метод вибору оптимального варіанту системи управління якістю ПЗ з множини допустимих альтернатив, який має враховувати ієрархічну структури критері-

ів і агрегованих показників його якості на кожному ієрархічному рівні;

- розробити метод відбору напружених варіантів стану системи якості ПЗ з врахуванням ієрархічної структури критеріїв і агрегованих показників, 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. Якість ПЗ є основною характеристикою продукту (сервісу або програми) в різних сферах використання інформаційних технологій [37], яка вказує на ступінь його/її відповідності встановленим вимогам [38]. Зазвичай, такі вимоги різні науковці трактують по-різному [11], що породжує декілька незалежних визначень цього терміна [4], [39]. Водночас, стандарт ISO/IEC 9126 [26] регламентує зовнішні й внутрішні характеристики якості ПЗ. Якщо зовнішні характеристики якості відображають вимоги до функціонування ПЗ [29], то внутрішні характеристики використовують для складання плану досягнення необхідних зовнішніх характеристик його якості [30], [31].

Зазвичай, під оцінюванням якості ПЗ розуміють дії, що визначають, як саме ПЗ відповідає своєму призначенню [3], [4], [14]. Якість ПЗ оцінюють з використанням моделі якості [27], [28]. Таке оцінювання набуває особливого значення із розвитком і вдосконаленням технологій оброблення експертних даних [17]. Усе це призвело до потреби розроблення нових методів і засобів комплексного оцінювання різноманітних характеристик якості ПЗ, які б враховують як невизначеності вхідної інформації, так і суб'єктивність оцінок експертів [12], [17], [47]. Особливості застосування моделей оцінювання якості ПЗ за визначеними методиками розглянуто в роботах [6], [9], [36].

Експертні методи оцінювання якості продукції добре себе показали в різних виробничих сферах [12], [37], а тому багато теоретиків і практиків у галузі інформаційних технологій спробували перенести цей досвід на процес розроблення ПЗ та управління його якістю [6], [38]. Загалом, застосування експертних технологій дає змогу бізнес-аналітикам визначити як якість майбутнього та вже розробленого ПЗ, так і складність реалізації програмного проекту [7], [11], [17]. Щодо застосування методів і засобів експертного оцінювання якості ПЗ, то ця проблема широко висвітлена в дослідженні [37]. У різних наукових працях процес експертного оцінювання якості ПЗ описано з урахуванням сфери компетентності експертів і за умови фіксації важливості кожного з них за встановленими критеріями [33]. Водночас, у дослідженнях [5], [17] 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 [38], [39], саме в кінці етапу проектування архітек-

тури ПЗ можна й варто виявляти та усувати до 55 % всіх недоліків майбутнього програмного продукту.

Ієрархічна структура управління (англ. *Hierarchical Structure of Management*) – це впорядкована сукупність взаємопов'язаних елементів, що знаходяться між собою у стійких взаємостосунках, які забезпечують їх функціонування та розвиток як єдиного цілого [13], [32], [41]. Ретельно розроблена ієрархічна структура компанії є логічною передумовою успіху в діловому кліматі 21-го століття [7], [42], [44]. Однак хороша структура є недостатньою без добре розробленої системи управління [1], [2], яка може слугувати міцною основою для управління компанією та підтримки прийнятих рішень. Щоб бути ефективно розробленою, система управління повинна враховувати всі контекстуальні та культурні чинники, які можуть вплинути на роботу ІТ-компанії [7], [9], [14].

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 рішень і їхнього практичного втілення у виробничий процес [8], [33], [40], [45]. Для того, щоб управлінське рішення було дієвим і ефективним, потрібно дотримуватися відповідних методів, апробованих методик і визначених методологічних основ до їх прийняття [10], [34], [41], [43].

Прийняття рішення, як правило, взаємопов'язане з вибором напряму дії [8], [33]. Важко прийняти ефективне рішення без спеціального аналізу різноманітних альтернатив [11], [14], [44]. Як показує практика діяльності ІТ-компаній, більшість рішень, прийнятих керівниками проектів чи їх менеджерами [3], [9], [38], базуються на їхній інтуїції, власному досвіді роботи, або на горезвісному "може вдасться". Такий підхід нерідко призводить до помилок, розчарувань, непередбачених витрат і неминучих втрат [11], [32].

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 зрозуміло, що якість ПЗ – багатопланове поняття, яке можна виразити адекватно тільки деякою структурованою системою характеристик та атрибутів, яку прийнято називати моделлю якості програмного продукту.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

1. Модель якості програмного продукту. Якість програмного продукту (англ. *Software Product Quality*) – набір властивостей, що характеризує його здатність задовольнити встановлені або передбачувані потреби замовника. Поняття якості має різні інтерпретації залежно від конкретного програмного продукту і вимог до нього [27], [28].

Якість програмної системи (англ. *Software System Quality*) – рівень, за якого ця система задовольняє заявлені та опосередковані потреби різних зацікавлених сторін і в такий спосіб забезпечує її значущість для них. Їхні потреби, наприклад функціональність, продуктивність, безпека, зручність супроводу тощо, є саме тими властивостями, що відображено в моделі якості, яка класифікує їх на характеристики та підхарактеристики.

Модель якості програмного продукту (англ. *Software Product Quality Model*) – головний атрибут комплексної

системи його оцінювання. Вона визначає, які характеристики якості програмного продукту потрібно врахувати при встановленні його властивостей. Моделі мають різну кількість рівнів і повністю або частково збігаються щодо набору характеристик якості. Наприклад, модель якості Мак Колла на найвищому рівні має три характеристики: функціональність, модифікованість і переносність, а на нижчих рівнях моделі – 11 підхарактеристик якості і 18 критеріїв (атрибутів) якості. Окрім цього, у різних джерелах таксономія (класифікація) характеристик у моделі якості різняться собою.

Сучасна модель якості програмного продукту, визначена в стандарті ISO/IEC 25010 [28] (затверджений у грудні 2019 року), містить вісім характеристик і 31 підхарактеристики якості (рис. 1). Цей стандарт є серйозним доопрацюванням стандарту ISO/IEC 9126 [27]. У новий стандарт внесено дві додаткові характеристики та 7 підхарактеристик – сумісність та безпеку, які значно детальніше описують процес забезпечення якості

програмного продукту, а також введені уточнення та перегрупування характеристик для більш ясного їхнього розуміння. Розглянемо їх дещо детальніше.

Функціональна придатність (англ. *Functional Suitability*) – рівень, за якого продукт або система забезпечує функції, які відповідають заявленим і передбачуваним потребам зацікавлених сторін під час його/її використання за певних умов роботи. Ця характеристика містить такі підхарактеристики: функціональна повнота (англ. *Functional Completeness*), функціональна коректність (англ. *Functional Correctness*), функціональна відповідність (англ. *Functional Appropriateness*).

Ефективність виконання (англ. *Performance Efficiency*) – продуктивність продукту або системи відносно кількості ресурсів, які він/вона можуть використовувати за вказаних умов роботи. Ця характеристика містить такі підхарактеристики: поведінка в часі (англ. *Time Behaviour*), використання ресурсів (англ. *Resource Utilization*), можливість (англ. *Capacity*).



Рис. 1. Модель якості програмного продукту / Software Product Quality Model [25]

Сумісність (англ. *Compatibility*) – рівень, за якого продукт, система чи їхні компоненти можуть здійснювати обмін даними з іншими продуктами, системами чи компонентами та/або виконувати свої функції під час спільного використання одного апаратного чи програмного середовища. Ця характеристика містить такі підхарактеристики: спільне існування (англ. *Co-existence*), інтеперабельність (англ. *Interoperability*).

Зручність використання (англ. *Usability*) – рівень, за якого продукт або систему можуть використовувати певні користувачі для досягнення визначених цілей з ефективністю, результативністю та задоволенням у визначеному контексті використання. Ця характеристика містить такі підхарактеристики: розпізнаваність відповідності (англ. *Appropriateness Recognisability*), придатність до навчання (англ. *Learnability*), практичність (англ. *Operability*), захист від помилок користувача (англ. *User Error Protection*), естетика користувацького інтерфейсу (англ. *User Interface Aesthetics*), доступність (англ. *Accessibility*).

Надійність (англ. *Reliability*) – рівень, за якого продукт, система або їхні компоненти виконують свої функції за певних умов роботи протягом певного періоду часу. Ця характеристика містить такі підхарактеристики: зрілість (англ. *Maturity*), доступність (англ. *Availability*), відмовостійкість (англ. *Fault Tolerance*), відновлюваність (англ. *Recoverability*).

Безпека (англ. *Security*) – рівень, за якого продукт або система захищає дані та інформацію, щоб користувачі та інші продукти чи системи мали можливість доступу до них, відповідних їм дозволам і рівням авториза-

ції. Ця характеристика містить такі підхарактеристики: конфіденційність (англ. *Confidentiality*), цілісність (англ. *Integrity*), невідмовність (англ. *Non-repudiation*), підзвітність (англ. *Authenticity*), автентичність (англ. *Accountability*).

Зручність супроводу (англ. *Maintainability*) – рівень ефективності та результативності, за якого продукт або систему можна встановити для того, щоб його/її вдосконалити, виправити або адаптувати до зміни користувацького середовища та вимог до їх функцій. Ця характеристика містить такі підхарактеристики: модульність (англ. *Modularity*), можливість повторного використання (англ. *Reusability*), аналізованість (англ. *Analysability*), можливість модифікації (англ. *Modifiability*), тестованість (англ. *Testability*).

Портативність (англ. *Portability*) – рівень ефективності та результативності, за якого система, продукт або їхні компоненти можуть бути перенесені з одного апаратного, програмного або іншого операційного чи користувацького середовища в інше. Ця характеристика містить такі підхарактеристики: адаптивність (англ. *Adaptability*), можливість встановлення (англ. *Installability*), заміненість (англ. *Replaceability*).

Отже, розглянуті вище підхарактеристики моделі ЯПП можна успішно використовувати для оцінювання чи встановлення якості як нового, так і модифікованого ПЗ чи будь-якої програмної системи. Водночас, наведені підхарактеристики є підставою 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 під/характеристикам моделі ЯПП запроваджені системи якості ПЗ можуть дещо відрізнятися між собою. Нагадаємо, що спеціалізація ІТ-компаній дає їм конкурентну перевагу на ринку ПЗ і свободу встановлювати на свої послуги вищу вартість, позаяк потенційні користувачі готові платити за кваліфікацію персоналу і, як результат, отриману якість продукту. Тому, як на думку багатьох фахівців [6], [11], [36], [45], майбутнє за вузькою спеціалізацією ІТ-компаній для того, щоб надавати клієнтам такі послуги, які вони не зможуть отримати від інших, забезпечивши при цьому належну їх якість.

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 під/характеристики моделі ЯПП, адже більшість з них є якісними показниками. Водночас, кількісні під/характеристики 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.

Як на нашу думку, то якість ПЗ може мати три стани: незадовільний, задовільний і добрий, що відповідає трибальній шкалі його оцінювання, а саме – 2, 3 і 4 бали. За більш прискіпливого оцінювання стану якості ПЗ можна використати п'ятибальну шкалу: погано, незадовільно, задовільно, добре і відмінно. Також для оцінювання якості ПЗ можна використовувати й інші шкали, наприклад, 10-ти чи 100-бальну, однак вони мають як своєї переваги, так і значні недоліки.

Отже, проведений аналіз наявної моделі якості програмного продукту, затвердженої стандартом ISO/IEC, дає змогу встановити характеристики та підхарактеристики системи якості ПЗ, а також визначити комплекс критеріїв для побудови ієрархічної її структури.

2. Моделювання ієрархічної структури системи управління якістю ПЗ. Для опису ієрархічної структури, наприклад, системи управління якістю продукту за основу беруть набір моделей, кожна з яких формують за відповідним правилом, що відображає певні особливості її функціонування [1], [6]. Такі моделі мають сповна відображати основні особливості функціонування об'єктів управління, а також гнучкість підготовки і прийняття управлінських рішень [33], [40]. Сукупність таких моделей утворює ієрархічну структуру системи управління, у вершині якої знаходиться їх метамодель в найбільш загальному вигляді, а на наступних рівнях ієрархії розміщують функціональні моделі конкретних завдань, які потрібно вирішити для досягнення стратегічної мети управління [2], [5].

Для побудови відповідного набору моделей здійснюють декомпозицію системи управління на складові частини з доведенням їх до виробничих постановок задач, а також до розроблення їх математичних моделей і формування переліку процедур прийняття обґрунтованих управлінських рішень для кожного завдання з узгодженням отриманих результатів на загальносистемному рівні [32], [42].

Внаслідок декомпозиції системи управління глобальний показник її ефективності функціонування апроксимують певним набором часткових локальних критеріїв об'єкта управління, які відображають набір бажаних

техніко-економічних показників діяльності ІТ-компанії, для кожного з яких складають і вирішують відповідне локальне завдання [41], [43]. Бажання врахувати основні особливості функціонування системи управління та передбачити негативні впливи на неї зовнішнього середовища призводить до значної розмірності математичних моделей і складності алгоритмізації розв'язуваних задач. Для вирішення цієї проблеми приймають концепцію багатомодельності [34], зорієнтовану на створення конструктивного математичного забезпечення системи управління у вигляді набору компактних і дієвих моделей незначної розмірності та простих у реалізації, водночас об'єднаних між собою як глобальною цільовою функцією, так і ресурсними обмеженнями [34].

Під час моделювання ієрархічної структури системи управління використовують математичний апарат теорії множин, теорії категорій, теорії графів і теорії операторів [43]. Метамодель верхнього рівня ієрархічної структури критеріїв/показників зазвичай подають таким операційним рівнянням

$$A \cdot x = y, x \in R_x^n, y \in R_y^n, \quad (1)$$

де: x і y – елементи метричних просторів R_x^n і R_y^n ; A – оператор метамоделі, який переводить елементи ресурсів $x \in R_x^n$ у елементи виробничо-технологічної діяльності $y \in R_y^n$.

Математичну модель оператора A зазвичай подають коротцем, який відображає його структуру і параметри

$$A = \langle A_s, A_p \rangle, s \in S, p \in P, \quad (2)$$

де: A_s, A_p – відповідно структура й параметри оператора A ; S, P – множини допустимих структур і параметрів відповідно.

Оператор A метамоделі верхнього рівня дає змогу враховувати різні властивості системи управління, тому він може бути лінійним, нелінійним, диференціальним, інтегральним до змінних у часі параметрів [40]. У окремому випадку оператором може бути число, функція або матриця. Як оператор, зазвичай, використовують матрицю, що містить, наприклад, коефіцієнти системи лінійних алгебричних рівнянь, які відображають стан якості програмного продукту загалом. Шляхом поділу такого матричного оператора на необхідну кількість частин можна отримати один із варіантів ієрархічної структури системи управління, що описує один із варіантів її поточного стану, який не претендує навіть на оптимальний. Завдання дослідника – здійснити поділ матричного оператора так, щоб отримати системи управління якістю програмного продукту оптимальної ієрархічної структури [8], [45].

Науково обґрунтоване формування найкращої ієрархічної структури будь-якої системи управління є невід'ємним етапом її моделювання [12], [42]. Така структура має містити сукупність стійких зв'язків між відповідними її елементами, які забезпечують насамперед цілісність й тотожність самій собі, тобто уможлиблює збереження основних властивостей системи при різних зовнішніх і внутрішніх змінах. При цьому структурні елементи системи управління як складові частини цілого можуть бути різними, зазвичай ієрархічними, функціональними, адміністративними, виробничими, топологічними, інформаційними тощо [10].

Ієрархічну структуру системи управління якістю програмного продукту можна подати двома способами

[34]: з погляду цілісності – це комплекс структурних елементів з перерахованого набору, який визначають конкретно постановкою завдання проектування, а з погляду узгодження – це сукупність взаємопов'язаних підсистем, які об'єднують людські, матеріальні та інформаційні ресурси для досягнення поставлених цілей. Отже, узагальнене поняття ієрархічної структури системи управління визначає набір структурних її елементів, а їхній зміст як більш вузьке поняття уточнюють конкретно постановкою локальних завдань, які стосуються кожного її ієрархічного рівня [12].

Якісні характеристики ієрархічної структури системи управління поділяють на дві групи [41]: загальні та конкретні. До першої групи належать показники, що характеризують виробничо-господарську діяльність системи, яка безпосередньо спрямована на перетворення наявних ресурсів у готові продукти проекту. Ці показники відображають виробничу, комерційну та економічну особливість діяльності структурних підрозділів ІТ-компанії. Будучи переведеними у вартісну або натуральну форму ці характеристики можуть бути критеріями ефективності функціонування відповідних підсистем управління [45].

Конкретні характеристики ієрархічної структури системи управління можна розділити на топологічні, що дають безпосереднє уявлення про особливості конфігурації системи, і внутрішньо-системні характеристики, які відображають особливості організації та функціонування системи управління [2]. До топологічних характеристик належать геометричний образ системи, взаємозв'язок елементів її ієрархічних рівнів, ступінь об'єднання критеріїв у агреговані показники, інформаційна та обчислювальна складність розв'язуваних задач. До внутрішньо-системних характеристик належать структурна стійкість системи, можливість управління її структурою, динамічність розвитку, керованість структурних елементів, їхня живучість, можливість адаптації та самоорганізації.

Сукупність перерахованих вище технічних, технологічних, системних і економічних характеристик системи управління загалом можна розглядати як множину цільових функцій, які подають якісними і кількісними співвідношеннями. На попередньому етапі проектування ієрархічної структури системи управління вибирають раціональну кількість активних цільових функцій, які сукупно визначають розмірність багатокритеріальної оптимізаційної задачі [8].

Кількість цільових функцій, що беруть участь в синтезі ієрархічної структури системи управління, вибирають з умови компромісу: з одного боку – прагнуть до адекватного (максимально повного) обліку всіх її особливостей, а з іншого боку відшукують найбільш вагомий показники (в мінімальній кількості), які найкраще враховують задані вимоги до ієрархічної структури системи управління [34]. Досягненню такого компромісу має сприяти постійне уточнення набору властивостей ієрархічної структури і ефективних процедур відбору відповідних критеріїв для їхнього залучення в глобальну цільову стратегію реалізації системи управління [47].

Ієрархічність структури системи управління якістю програмного продукту визначають такі показники, як топологія структури, кількість рівнів ієрархії, кількість елементів на кожному рівні, кількість зв'язків між еле-

ментами, показник агрегування інформації при переході до рівнів, розташованих вище [42]. Будь-яка структура системи управління може містити ієрархію: критеріїв і показників, даних й інформації, алгоритмів і обчислювальних процедур, варіантів відбору й альтернатив прийняття управлінських рішень [47].

З погляду прийняття управлінських рішень, то важливими характеристиками ієрархічної структури системи управління є централізація та децентралізація процедур підготовки, обґрунтування та ухвалення рішень [13]. Централізація виражає властивість передачі повноважень з прийняття рішень на рівні, розташовані вище. Децентралізація передбачає делегування відповідальності за прийняття ряду основних рішень представниками нижчих рівнів управлінської ієрархії.

Складність ієрархічної структури системи управління визначають витрати виробничих ресурсів, які необхідно залучити для прийняття рішень в припущенні, що структура системи управління задана, функції управління розподілені, а також відомі алгоритми як управління, так і прийняття обґрунтованих рішень [32], [40]. Складність ієрархічної структури D можна подати таким кортежем

$$D = \langle S, M, N \rangle, \quad (3)$$

де $S = \{s_i, i = \overline{1, N}\}$ – множина завдань встановленої розмірності, які потрібно вирішити на i -му ієрархічному рівні; $M = \{m_i, i = \overline{1, N}\}$ – множина підсистем i -го рівня ієрархії; N – кількість рівнів.

Адаптивність ієрархічної структури системи управління відображає можливість її реорганізації відповідно: до мінливих загальних і часткових цілей процесу управління; до зміни умов функціонування та до проявів зовнішнього середовища; до зміни якості обладнання, інструментів і кваліфікації виробничого персоналу [43]. Параметрами адаптації можуть бути цільові функції чи функціонали, аргументами яких є локальні критерії для визначення ефективності функціонування системи управління [34].

Ступінь адаптації ієрархічної структури системи управління встановлюють шляхом моделювання її функціональності при зміні як самої структури системи, так і її елементів, а також під час оцінювання ефективності її роботи там, де мали місце ці зміни [8], [13]. Процедури адаптації ієрархічної структури закладені в основу самоорганізації цієї структури, яка відображає здатність активно і цілеспрямовано змінюватися під впливом зовнішнього середовища [45].

Наведені вище характеристиками ієрархічної структури системи управління якістю програмного продукту можна використати для формулювання різних постановок задач аналізу і синтезу відповідних структур в загальній системі оцінювання якості ПЗ [1], [2]. Водночас, завдання ефективного моделювання ієрархічної структури системи управління при заданому переліку матеріальних, фінансових і інформаційних потоків полягає у виборі такого інформаційно-управляючого комплексу локальних і глобальних завдань, які б, з одного боку, найкраще відповідали своїм змістом і масштабом діяльності ІТ-компанії, як формальним, так і фактичним ознакам організації її структури та умовам функціонування, а з іншого боку – забезпечували б ефективне виконання всіх функцій з управління організаційно-техноло-

гічними процесами як під час реалізації програмних проєктів, так і при розробленні ПЗ [32].

3. Побудова системи управління якістю програмного забезпечення методом ієрархічної структури критеріїв. Щоб врахувати декілька критеріїв у системі управління якістю ПЗ [9], доводиться розв'язувати багатокритеріальну задачу пошуку оптимального варіанту з множини допустимих [2], [38]. Як правило, різні цілі запровадження таких систем у кожній ІТ-компанії зазвичай суперечливі між собою [34]. 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 варіанту 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 [33], [47].

Існує декілька підходів до розв'язання такого класу задач, більшість з яких так чи інакше пов'язані з формуванням узагальненого показника ефективності допустимого варіанту [2], [19], [40], значення якого в агрегованому чи комплексному вигляді за певних умов поєднання наявних критеріїв може адекватно відображати задану керівником ІТ-компанії стратегію запровадження власної системи управління якістю ПЗ. Тому, свого часу, для прийняття обґрунтованих управлінських рішень велику популярність отримав метод формування комплексного показника ефективності проєктованого об'єкта на підставі побудови ієрархічної структури (дерева) критеріїв його відбору. Ідея методу полягає в тому, що всі початкові критеріїв організують 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 [19].

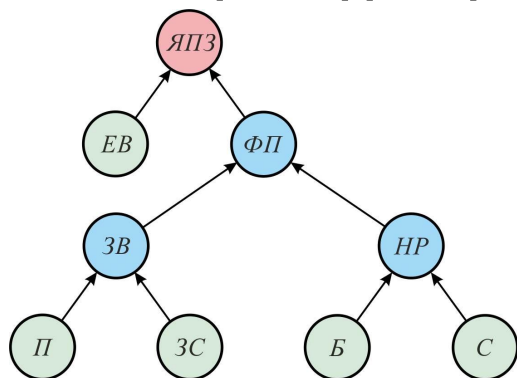


Рис. 2. Ієрархічна структура системи оцінювання якості ПЗ / Hierarchical structure of software quality assessment system

В роботі [15] було запропоновано ієрархічну структуру для восьми критеріїв комплексного оцінювання якості ПЗ (рис. 2), які забезпечують його безпеку (Б) і сумісність (С), гарантують відповідний рівень порта-

тивності (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 оцінку якості як нового, так і модифікованого ПЗ. З цього рисунку також видно, що для отримання комплексного показника якості продукту ЯПЗ спочатку потрібно об'єднати критерії оцінювання портативності (П) продукту з критерієм його зручності 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 критерії 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 [15] ієрархічної структури критеріїв оцінювання якості ПЗ, наведеної на рис. 2, 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 присвоювати їхні назви агрегованим показникам, аналогічні з назвами характеристик, встановлені в моделі ЯПП [28]. 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 [15] було враховано підхарактеристики тільки цих двох критеріїв і свідомо відкинуто підхарактеристики третього критерію з нижчого рівня якості ПЗ. Водночас, агрегований показник поточного стану якості ПЗ має враховувати підхарактеристики кожного з критеріїв оцінювання рівня його якості.

Тому наведена на рис. 2 ієрархічна структура наявних критеріїв і отриманих агрегованих показників поточної якості ПЗ є не зовсім придатною для практичного її використання. Хоча така структура і є надзвичайно простою, 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 свої підхарактеристики не беруть 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 як агрегований показник функціональної придатності (ФП) продукту утворений двома агрегованими показниками, які характеризують його зручність використання (ЗВ) та надійність роботи (НР). Окрім цього, не врахування підхарактеристик цих трьох критеріїв у наведеній на рис. 2 ієрархічній структурі призведе до того, що, будучи присутніми в моделі якості програмного продукту,

вони можуть негативно вплинути не тільки на виробничо-господарську діяльність навіть прогресивної ІТ-компанії, але й не коректно відобразитись на її бухгалтерському обліку та фінансовій звітності [13], [46].

Для виходу з цієї ситуації насамперед 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. 2). Насамперед, як на думку багатьох виробників [12], [13], [41], [43], 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. Водночас, вимога користувачів щодо зручності супроводу продукту значною мірою залежить від його портативності, що, як наслідок, разом неабияк сприяють зручності його використання. Окрім цього, велике бажання користувачів мати надійне для роботи ПЗ в поєднанні зі зручністю його використання утворюють беззаперечну його функціональну придатність, яка разом з ефективністю виконання забезпечують його належну якість, що, водночас, задовольняє вимоги найвибагливіших адміністраторів мережі. Наведені міркування, як на наш погляд, не є аксіомою, тобто 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).

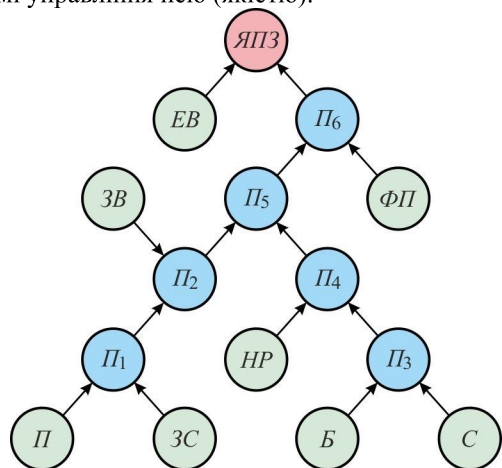


Рис. 3. Ієрархічна структура системи управління якістю ПЗ / Hierarchical structure of software quality management system

На рис. 3 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 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 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 критерієм його зручності супроводу (ЗС) в один агрегований показник поточної якості продукту P_1 . Далі потрібно об'єднати критерій оцінювання безпеки (Б) та сумісності (С) продукту в один агрегований показник поточної якості продукту P_3 . Потім, об'єднуючи критерій оцінювання зручності використання (ЗВ) продукту з агрегованим показником його поточної якості P_1 , отримуємо один агрегований показник його якості P_2 . Аналогічно, об'єднуючи критерій оцінювання надійності роботи (НР) продукту з агрегованим показником його поточної якості P_3 , отримуємо один агрегований показник якості продукту P_4 . Після цього, об'єднуючи два агреговані показники якості продукту P_2 і P_4 , отримуємо один агрегований показник якості продукту P_5 .

Об'єднавши агрегований показник якості продукту P_5 з критерієм оцінювання функціональної його придатності (ФП), отримуємо один агрегований показник якості продукту P_6 . І, на завершення, об'єднуючи один критерій оцінювання ефективності виконання (ЕВ) продукту з агрегованим показником його поточної якості P_6 , 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. 3, є те, що до неї хоча і внесено додаткові 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 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 [13], [46]. 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, особливістю запропонованої ієрархічної структури критеріїв оцінювання якості ПЗ (рис. 3) є агрегування в кожному вузлі дерева рішень тільки двох критеріїв чи агрегованих показників поточної його якості, що є основною перевагою такого підходу до прийняття обґрунтованих управлінських рішень порівняно з іншими. Справа у тому, що комплексний показник якості ПЗ має відображати важливі пріоритети стратегії запровадження системи як його оцінювання зокрема, так і системи 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 порівню-

вати потенційні варіанти рішення не більше, ніж за двома критеріями чи агрегованими показниками. Запропонована ієрархічна структура критеріїв практично повністю уникає як цієї психологічної проблеми, так і запобігає виникненню багатьох інших проблем, про які йтиметься нижче.

Порівняння варіантів поточного стану якості ПЗ, а значить і утворення адекватної системи його оцінювання за двома критеріями зручно виконувати, подаючи їх значення (експертні оцінки) у вигляді відповідної таблиці (матриці). Для цього заздалегідь перейдемо до застосування дискретних оцінок якості ПЗ за кожним критерієм, використовуючи для цього п'ятибальну шкалу: критично, погано, задовільно, добре, відмінно, або в числових значеннях – один, два, три, чотири, п'ять. За аналогічними назвами/балами відобразимо комплексний остаточний та агрегований поточні показники оцінювання відповідних станів якості ПЗ. Тут йдеться про те, що такі назви оцінок будемо використовувати і для критеріїв, що характеризують рівень якості ПЗ зокрема, і для агрегованих показників, що оцінюють стан якості ПЗ на кожному його ієрархічному рівні загалом.

В табл. 1 наведено приклад згорання критерію оцінювання портативності (P) продукту з критерієм його зручності супроводу (EM) за п'ятибальною шкалою, внаслідок чого отримуємо агрегований показник поточної якості продукту P_1 , якому відповідатиме поточний стан якості ПЗ. Як у цій, так і в наступних матрицях запроваджена така стратегія експертного оцінювання поточного стану якості ПЗ, яку буде відображено у їхніх агрегованих показниках. За мінімального значення рівня якості ПЗ за одним критерієм і при найвищому рівні його якості за іншим критерієм максимальні оцінки поточних станів за агрегованим показником мають не перевищувати їхнього середнього значення. Водночас, середнім рівням якості ПЗ за кожним критерієм мають відповідати приблизно й середні оцінки поточних його станів за агрегованим показником. Зрозуміло, максимальним рівням якості ПЗ за кожним критерієм відповідають й максимальні оцінки їхніх поточних станів за агрегованим показником.

Табл. 1. Матриця згорання критерію оцінювання портативності (P) продукту з критерієм його зручності супроводу (EM) / Matrix of convolution of the criterion for assessing the Portability (P) of the product with the criterion of its Ease of Maintenance (EM)

Рівень P	Стан агрегованого показника якості продукту P_1				
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 EM	1	2	3	4	5

Стосовно стратегії експертного оцінювання поточного стану якості ПЗ (див. табл. 1), то при критичному рівні портативності (P) продукту та при поганому рівні його зручності супроводу (EM) незначний пріоритет має критерій, 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. Наприклад, якщо рівень портативності продукту має

оцінку "добре" чи "відмінно", а рівень зручності його супроводу – "задовільно", то агрегований показник поточної якості продукту P_1 набуває значення "добре". Якщо ж навпаки (оцінка "добре" чи "відмінно" відповідає якості продукту за рівнем зручності його супроводу та "задовільно" – щодо його портативності), то стан агрегованого показника якості продукту P_1 оцінюють відповідно на "добре" і "відмінно". Отже, із зростанням рівня портативності продукту пріоритет зміщується у бік критерію, що відповідає за рівень зручності його супроводу. Зокрема, агрегованому показнику поточної якості продукту P_1 притаманна оцінка "відмінно" тільки за оцінки "відмінно" за критерієм зручності супроводу продукту, водночас як рівень його портативності може мати оцінку навіть "задовільно".

В табл. 2 наведено приклад згорання критерію оцінювання зручності використання (U) продукту з агрегованим показником його поточної якості P_1 , внаслідок чого отримуємо агрегований показник його якості P_2 , якому відповідатиме поточний стан якості ПЗ. Як і в попередній матриці (див. табл. 1), так і в цій збережена аналогічна стратегія експертного оцінювання поточного стану якості ПЗ, яку сповна відображено у їхніх агрегованих показниках. Також обидві матриці сукупно відображають так звані користувачькі (споживчі) пріоритети зацікавлених сторін щодо відбору поточного варіанту системи управління якістю ПЗ за агрегованими показниками якості продукту P_1 і P_2 .

Табл. 2. Матриця згорання критерію оцінювання зручності використання (U) продукту з агрегованим показником його якості P_1 / Matrix of convolution of the criterion for assessing the Usability (U) of the product with an aggregate indicator of its quality P_1

Рівень U	Стан агрегованого показника якості продукту P_2				
5	3	4	5	5	5
4	2	3	4	5	5
3	2	3	4	4	5
2	1	2	3	4	4
1	1	2	2	3	4
Стан P_1	1	2	3	4	5

В табл. 3 наведено приклад згорання критерію оцінювання безпеки (B) продукту з критерієм його сумісності (C), внаслідок чого отримуємо агрегований показник поточної якості продукту P_3 , якому відповідатиме поточний стан якості ПЗ. Так, при поганому рівні безпеки продукту та при критичному рівні його сумісності незначний пріоритет має критерій, що відповідає за рівень безпеки 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_3 набуває значення "відмінно". Якщо ж навпаки (оцінка "добре" чи навіть "відмінно" відповідає якості продукту за рівнем сумісності продукту та "задовільно" – щодо рівня його безпеки), то агрегований показник поточної якості продукту P_3 оцінюють також на "відмінно". Отже, із зростанням рівня сумісності продукту пріоритет зміщують у бік критерію рівня його безпеки. Зокрема, значення показника якості продукту P_3 з оцінкою "відмінно" можливе як при оцінці "задовільно" за критерієм рівня його безпеки, так і за

рівнем його сумісності, тобто пріоритету немає жоден із критеріїв.

Табл. 3. Матриця згортання критерію оцінювання безпеки (B) продукту з критерієм його сумісності (C) / Matrix of convolution of the criterion for assessing the Security (S) of the product with the criterion of its Compatibility (C)

Рівень B	Стан агрегованого показника якості продукту P ₃				
5	3	4	5	5	5
4	3	4	5	5	5
3	2	3	4	5	5
2	2	2	3	3	4
1	1	1	2	2	3
Рівень C	1	2	3	4	5

В табл. 4 наведено приклад згортання критерію оцінювання надійності роботи (HP) продукту з агрегованим показником його поточної якості P₃, внаслідок чого отримуємо агрегований показник його якості P₄, якому відповідатиме поточний стан якості ПЗ. Як і в попередній матриці (див. табл. 3), так і в цій збережена аналогічна стратегія експертного оцінювання поточного стану якості ПЗ, яку достеменно відображено у їхніх агрегованих показниках. Також обидві матриці сукупно відображають так звані операційно-безпекові пріоритети зацікавлених сторін щодо відбору поточного варіанту системи управління якістю ПЗ за агрегованими показниками якості продукту P₃ і P₄.

Табл. 4. Матриця згортання критерію оцінювання надійності роботи (HP) продукту з агрегованим показником його якості P₃ / Matrix of convolution of the criterion for assessing the Reliability of Work (RW) of the product with an aggregate indicator of its quality P₃

Стан HP	Стан агрегованого показника якості продукту P ₄				
5	2	4	5	5	5
4	2	3	4	5	5
3	2	3	3	4	5
2	1	2	3	4	4
1	1	2	2	3	3
Рівень P ₃	1	2	3	4	5

Маючи значення поточних станів якості ПЗ, можемо побудувати матрицю згортання агрегованих показників якості продукту P₂ і P₄ (табл. 5). Ці матриці сукупно відображають як користувачкі (споживчі), так і операційно-безпекові пріоритети зацікавлених сторін щодо відбору поточного варіанту системи управління якістю ПЗ за агрегованими показниками якості продукту P₂ і P₄. Тут також можна відзначити таку закономірність надання пріоритетів зацікавленими сторонами. При критичному стані агрегованого показника якості продукту P₂ та навіть поганому стані показника його якості P₄ пріоритет має агрегований показник поточної якості продукту P₄. При задовільних значеннях показників якості продукту P₂ та P₄ пріоритет зміщується у бік агрегованого показника якості продукту P₄. Таку закономірність надання пріоритету показнику якості продукту P₄ можна спостерігати навіть при оцінюванні їхніх станів на "відмінно". Наприклад, при оцінці "відмінно" показника якості продукту P₄ стан агрегованого показника якості продукту P₅ сягає значення "відмінно" тоді, коли значення показника якості продукту P₂ становить навіть "задовільно". Водночас, при оцінці "відмінно" показника якості продукту P₂ стан агрегованого показника якості продукту P₅ набуває значення "відмінно"

тоді, коли значення показника якості продукту P₄ становить "добре".

Табл. 5. Матриця згортання агрегованого показника якості продукту P₂ з агрегованим показником його якості P₄ / Matrix of convolution of the aggregate product quality indicator P₂ with an aggregate indicator of its quality P₄

Стан P ₂	Стан агрегованого показника якості продукту P ₅				
5	3	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 ₄	1	2	3	4	5

В табл. 6 наведено приклад згортання агрегованого показника якості продукту P₅ з критерієм оцінювання його функціональної придатності (ФП), внаслідок чого отримуємо агрегований показник поточної якості продукту P₆, якому відповідатиме поточний стан якості ПЗ. Тут також можна відзначити таку закономірність надання пріоритетів зацікавленими сторонами. При критичному рівні забезпечення функціональної придатності (ФП) продукту та навіть поганому значенні агрегованого показника якості продукту P₅ пріоритет має показник якості продукту P₅. При задовільних рівнях критерію оцінювання функціональної придатності (ФП) та задовільному значенні показника якості продукту P₅ пріоритет зміщується у бік показника якості продукту P₅. Таку закономірність надання пріоритету показнику якості продукту P₅ можна спостерігати навіть при оцінюванні їхніх станів на "відмінно". Наприклад, при оцінці "відмінно" щодо забезпечення функціональної придатності (ФП) продукту агрегований показник його якості P₆ сягає значення "відмінно" тоді, коли значення показника якості продукту P₅ становить навіть "добре". Водночас, при оцінці "відмінно" для агрегованого показника якості продукту P₅ показник якості продукту P₆ сягає значення "відмінно" тоді, коли значення критерію забезпечення функціональної придатності (ФП) продукту становить також "добре", тобто пріоритету немає ні агрегований показник, ані відповідний критерій.

Табл. 6. Матриця згортання агрегованого показника якості продукту P₅ з критерієм оцінювання його функціональної придатності (ФП) / Matrix of convolution of the aggregate product quality indicator P₅ with the criterion for assessing its Functional Suitability (FS)

Стан P ₅	Стан агрегованого показника якості продукту P ₆				
5	3	4	4	5	5
4	3	3	4	4	5
3	2	3	3	4	4
2	2	2	2	3	3
1	1	1	2	2	2
Рівень ФП	1	2	3	4	5

Отже, якщо в попередній матриці (див. табл. 5) показана певна система надання пріоритетів зацікавленими сторонами агрегованим показникам P₂ і P₄, то в цій матриці (табл. 6) показана протилежна стратегія експертного оцінювання поточного стану якості ПЗ, яку сповна відображено у їхніх агрегованих показниках P₅ і P₆. Також обидві матриці сукупно відображають так звані експлуатаційні пріоритети зацікавлених сторін щодо відбору поточного варіанту системи управління якістю ПЗ за агрегованими показниками якості продукту P₅ і P₆.

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. 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. 7. Матриця згортання критерію ефективності виконання (ЕВ) продукту з агрегованим показником якості продукту P_6 / Matrix of convolution of the Performance Efficiency (PE) of the product with aggregate product quality indicator P_6

Рівень ЕВ	Стан якості програмного забезпечення (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_6	1	2	3	4	5

І, на завершення, побудуємо матрицю згортання критерію ефективності виконання (ЕВ) продукту з агрегованим показником його поточної якості P_6 , внаслідок чого отримаємо значення комплексного показника якості продукту ЯПЗ (табл. 7). Матриця відображає виробничі пріоритети зацікавлених сторін щодо відбору потенційних варіантів системи управління якістю ПЗ. У цій матриці спостерігаємо таку закономірність надання пріоритетів зацікавленими сторонами. При навіть задовільному рівні ефективності виконання продукту та при поганому стані показника його якості P_6 (і навпаки) пріоритету немає ні критерій, ані показник. При задовільному стані агрегованого показника якості продукту P_6 та при задовільному і доброму рівні ефективності його виконання пріоритет віддають агрегованому показнику поточної якості продукту P_6 . Наприклад, якщо показник якості продукту P_6 має оцінку "добре", а зна-

чення критерію ефективності його виконання є задовільним і вище, то агрегований показник поточної якості продукту P_6 набуває значення "відмінно". Отже, із зростанням рівня ефективності виконання продукту пріоритет зміщується у бік агрегованого показника якості продукту P_6 . Зокрема, значення комплексного показника якості продукту ЯПЗ з оцінкою "відмінно" можливе навіть при оцінці "погано" за критерієм ефективності виконання продукту, водночас як агрегований показник поточної якості продукту P_6 має мати значення "добре".

Розглянуті вище сім матриць, об'єднані в одну графічну схему визначення комплексного показника якості ПЗ, наведено на рис. 4. Маючи таке дерево згортання восьми критеріїв і шістьох агрегованих показників якості продукту можна оцінювати стан якості ПЗ на будь-якому ієрархічному рівні системи управління його якістю, після чого можна вибирати оптимальний її варіант з множини допустимих.

4. Особливості переходу системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого. Спробуємо вибрати таку множину варіантів системи управління якістю ПЗ, яка б забезпечувала перехід його якості від стану, наприклад, з оцінкою "задовільно" до стану з оцінкою "добре". На практиці це означає значне покращення рейтингу ІТ-компанії на ринку виробників ПЗ.

Для вирішення цієї проблеми насамперед дамо визначення поняттю *напружених варіантів* стану якості ПЗ. Так остаточний варіант якості ПЗ опишемо двома параметрами $\tilde{X}^\Sigma = \{X^{EB}, X^{P_6}\}$ (критерієм оцінювання ефективності виконання EB і агрегованим показником поточної якості P_6), значення яких визначають стан його значущості (див. табл. 7). Вважатимемо, що варіант x_1 називають напруженим, якщо не існує іншого варіанта x_2 , який має аналогічне значення агрегованого показника його якості, у якого значення кожного з них не вищі, ніж у варіанта x_1 . Наприклад, варіант $\tilde{X}_1^\Sigma = \{3, 3\}$: (3), маючи значення показника якості продукту ЯПЗ "задовільно", не є напруженим, оскільки є варіант $\tilde{X}_2^\Sigma = \{2, 3\}$: (3), який має аналогічне значення цього показника, водночас значення критерію EB менше від значення для аналогічного критерію за варіантом \tilde{X}_1^Σ . Аналогічно, варіант $\tilde{X}_3^\Sigma = \{2, 4\}$: (3), маючи значення показника якості продукту ЯПЗ "задовільно", також не є напруженим, оскільки існує варіант $\tilde{X}_2^\Sigma = \{2, 3\}$: (3), який має аналогічне значення цього показника, водночас значення агрегованого показника P_6 менше від значення для аналогічного критерію за варіантом \tilde{X}_3^Σ . Оскільки для варіанта \tilde{X}_2^Σ інших можливих варіантів немає, тому він і є напруженим.

Призначення поняття напружених варіантів зроблено для того, щоб серед усіх можливих варіантів якості ПЗ, які забезпечують набуття потрібного значення комплексного показника його якості, вибрати ті з них, які будуть придатними для подальшого аналізу. Фактично, напружені варіанти – це Парето-гоптимальні альтернативи в просторі розглядуваних критеріїв [9], [45]. 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 стану якості ПЗ з множини допустимих, який складається з декількох кроків.

Крок 1. Оскільки поставлено завдання переходу системи управління якістю ПЗ із стану $\tilde{X}_0^\Sigma = \{3, 3\}$ зі значенням комплексного показника його якості з оцінкою "задовільно" в стан $\tilde{X}_1^\Sigma = \{4, 4\}$ з оцінкою "добре", то спочатку проаналізуємо матрицю згортання (див. табл. 7) критерію ефективності виконання (ЕВ) продукту з агрегованим показником його поточної якості Π_6 . Для цього на рис. 4 відзначаємо всі елементи матриці ЕВ/ Π_6 , які мають значення показника "добре" і, водночас, є напруженими, тобто тільки ті з них, які знаходяться

зліва і знизу від них. Для отримання кожного з вказаних станів якості ПЗ потрібно досягти відповідних значень за критерієм ЕВ і агрегованим показником Π_6 . Так, стан системи управління якістю ПЗ із значенням комплексного показника його якості з оцінкою "добре" можна досягнути, набувши значення "погано" за критерієм ефективності виконання продукту (ЕВ) і значення "відмінно" – за агрегованим показником його поточної якості Π_6 . Аналогічний стан системи можна досягнути, набувши значення "задовільно" за критерієм ЕВ і значення "добре" за агрегованим показником Π_6 і т.д. Внаслідок виконання таких дій отримуємо три напружені варіанти стану якості ПЗ, а саме:

$$\tilde{X}_1^{ЕВ, \Pi_6} = \{2; 5\} : (4), \quad \tilde{X}_2^{ЕВ, \Pi_6} = \{3; 4\} : (4) \quad \tilde{X}_3^{ЕВ, \Pi_6} = \{4; 3\} : (4).$$

- $\tilde{X}_1^{\Pi_6, \Pi_4} = \{1; 2\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_2^{\Pi_6, \Pi_4} = \{3; 1\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_3^{\Pi_6, \Pi_4} = \{1; 4\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_4^{\Pi_6, \Pi_4} = \{2; 3\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_5^{\Pi_6, \Pi_4} = \{4; 2\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_6^{\Pi_6, \Pi_4} = \{5; 1\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_7^{\Pi_6, \Pi_4} = \{2; 5\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_8^{\Pi_6, \Pi_4} = \{3; 4\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_9^{\Pi_6, \Pi_4} = \{4; 3\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_{10}^{\Pi_6, \Pi_4} = \{3; 5\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_{11}^{\Pi_6, \Pi_4} = \{5; 4\}$ – напружений.
- $\Pi_2 = \Pi_4 = \{2; 3; 4; 5\}$

- $\tilde{X}_1^{3В, \Pi_1} = \{1; 1\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_2^{3В, \Pi_1} = \{1; 2\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_3^{3В, \Pi_1} = \{3; 1\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_4^{3В, \Pi_1} = \{1; 4\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_5^{3В, \Pi_1} = \{2; 3\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_6^{3В, \Pi_1} = \{3; 2\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_7^{3В, \Pi_1} = \{5; 1\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_8^{3В, \Pi_1} = \{1; 5\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_9^{3В, \Pi_1} = \{2; 4\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_{10}^{3В, \Pi_1} = \{3; 3\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_{11}^{3В, \Pi_1} = \{5; 2\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_{12}^{3В, \Pi_1} = \{3; 5\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_{13}^{3В, \Pi_1} = \{4; 4\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_{14}^{3В, \Pi_1} = \{5; 3\}$ – напружений.
- $\Pi_1 = \{1; 2; 3; 4; 5\}$

- $\tilde{X}_1^{\Pi, 3С} = \{1; 1\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_2^{\Pi, 3С} = \{1; 2\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_3^{\Pi, 3С} = \{3; 1\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_4^{\Pi, 3С} = \{1; 4\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_5^{\Pi, 3С} = \{2; 3\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_6^{\Pi, 3С} = \{4; 2\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_7^{\Pi, 3С} = \{2; 5\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_8^{\Pi, 3С} = \{3; 4\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_9^{\Pi, 3С} = \{4; 3\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_{10}^{\Pi, 3С} = \{3; 5\}$ – напружений;
 - $\tilde{X}_{11}^{\Pi, 3С} = \{4; 4\}$ – напружений.
- $\Pi = \{1; 2; 3; 4\}$ $3С = \{1; 2; 3; 4; 5\}$

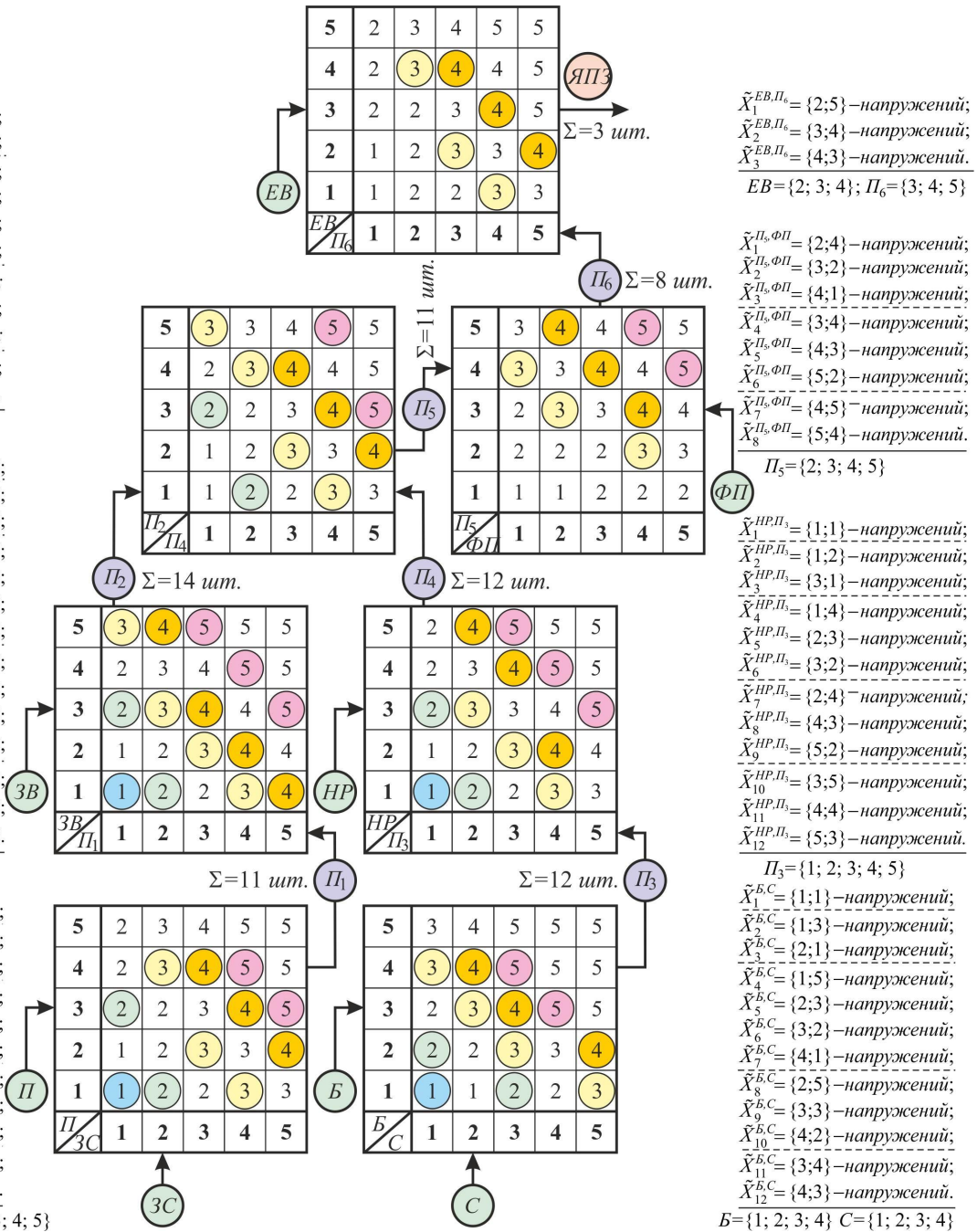


Рис. 4. Схема формування комплексного показника якості ПЗ / Scheme of formation of a complex indicator of software quality

На рис. 4 (див. табл. 7) у матриці ЕВ/ Π_6 відзначено кружечком значення комплексного показника якості

продукту ЯПЗ, які потрібно досягнути для отримання бажаного стану системи управління якістю ПЗ. Цей по-

казник формують три рівні критерію ефективності виконання (ЕВ) продукту – 2, 3 і 4, а також три стани агрегованого показника поточної якості продукту P_6 , а саме – 3, 4 і 5. Тому далі встановимо, які саме стани агрегованого показника P_6 забезпечують перехід системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого.

Крок 2. Проаналізуємо матрицю згортання агрегованого показника якості продукту P_5 з критерієм оцінювання його функціональної придатності (ФП) (див. табл. 6, рис. 4). На підставі значень елементів цієї матриці потрібно вказати всі напружені варіанти якості ПЗ, які для показника P_6 мають оцінки 3, 4 і 5. Так, оцінку "задовільно" можна отримати тільки за трьома напруженими варіантами: $\tilde{X}_1^{П_5, ФП} = \{2;4\}:(3)$, $\tilde{X}_2^{П_5, ФП} = \{3;2\}:(3)$ і $\tilde{X}_3^{П_5, ФП} = \{4;1\}:(3)$; оцінку "добре" – за трьома напруженими варіантами: $\tilde{X}_4^{П_5, ФП} = \{3;4\}:(4)$, $\tilde{X}_5^{П_5, ФП} = \{4;3\}:(4)$ і $\tilde{X}_6^{П_5, ФП} = \{5;2\}:(4)$, а оцінку "відмінно" мають всього два напружені варіанти: $\tilde{X}_7^{П_5, ФП} = \{4;5\}:(5)$ і $\tilde{X}_8^{П_5, ФП} = \{5;4\}:(5)$. Отже, серед усіх 16 можливих варіантів стану агрегованого показника поточної якості продукту P_6 тільки 8 з них виявилися напруженими.

З рис. 4 видно, що стани агрегованого показника поточної якості продукту P_6 формують чотири стани агрегованого показника P_5 (2, 3, 4 і 5) і п'ять рівнів критерію його функціональної придатності ФП, а саме – 1, 2, 3, 4 і 5. Тому далі проаналізуємо агрегований показник поточної якості продукту P_5 , де встановимо, які саме його стани забезпечують перехід системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого.

Крок 3. Тепер проаналізуємо матрицю згортання агрегованого показника якості продукту P_2 з агрегованим показником його поточної якості P_4 (див. табл. 5, рис. 4), які утворюють агрегований показник поточної якості продукту P_5 . На підставі значень елементів цієї матриці потрібно вказати всі напружені варіанти якості ПЗ, які для показника P_5 мають оцінки 2, 3, 4 і 5. Так, оцінку "погано" можна отримати за двома напруженими варіантами: $\tilde{X}_1^{П_2, П_4} = \{1;2\}:(2)$ і $\tilde{X}_2^{П_2, П_4} = \{3;1\}:(2)$; оцінку "задовільно" – за чотирма напруженими варіантами: $\tilde{X}_3^{П_2, П_4} = \{1;4\}:(3)$, $\tilde{X}_4^{П_2, П_4} = \{2;3\}:(3)$, $\tilde{X}_5^{П_2, П_4} = \{4;2\}:(3)$ і $\tilde{X}_6^{П_2, П_4} = \{5;1\}:(3)$; оцінку "добре" – за трьома напруженими варіантами: $\tilde{X}_7^{П_2, П_4} = \{2;5\}:(4)$, $\tilde{X}_8^{П_2, П_4} = \{3;4\}:(4)$ і $\tilde{X}_9^{П_2, П_4} = \{4;3\}:(4)$, а оцінку "відмінно" мають всього два напружені варіанти: $\tilde{X}_{10}^{П_2, П_4} = \{3;5\}:(5)$ і $\tilde{X}_{11}^{П_2, П_4} = \{5;4\}:(5)$. Отже, серед усіх 23 можливих варіантів стану агрегованого показника поточної якості продукту P_5 тільки 11 з них виявилися напруженими.

З рис. 4 видно, що стани агрегованого показника поточної якості продукту P_5 формують усі п'ять станів кожен з агрегованих показників P_2 і P_4 . Тому далі проаналізуємо кожен з цих показників окремо, наприклад, спочатку звернемо увагу на агрегований показник поточної якості продукту P_4 , де встановимо, які саме його стани забезпечують перехід системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого.

Крок 4. Тепер проаналізуємо матрицю згортання критерію оцінювання надійності роботи (НР) продукту з агрегованим показником його поточної якості P_3 (див.

табл. 4, рис. 4), які утворюють агрегований показник його якості P_4 . На підставі значень елементів цієї матриці потрібно вказати всі напружені варіанти якості ПЗ, які для показника P_4 мають оцінки 1, 2, 3, 4 і 5. Так, оцінку "критично" можна отримати за одним напруженими варіантом $\tilde{X}_1^{НР, П_3} = \{1;1\}:(1)$; оцінку "погано" – за двома напруженими варіантами: $\tilde{X}_2^{НР, П_3} = \{1;2\}:(2)$ і $\tilde{X}_3^{НР, П_3} = \{3;1\}:(2)$; оцінку "задовільно" – за трьома напруженими варіантами: $\tilde{X}_4^{НР, П_3} = \{1;4\}:(3)$, $\tilde{X}_5^{НР, П_3} = \{2;3\}:(3)$ і $\tilde{X}_6^{НР, П_3} = \{3;2\}:(3)$; оцінку "добре" – за трьома напруженими варіантами: $\tilde{X}_7^{НР, П_3} = \{2;4\}:(4)$, $\tilde{X}_8^{НР, П_3} = \{4;3\}:(4)$ і $\tilde{X}_9^{НР, П_3} = \{5;2\}:(4)$, а оцінку "відмінно" мають також три напружені варіанти: $\tilde{X}_{10}^{НР, П_3} = \{3;5\}:(5)$, $\tilde{X}_{11}^{НР, П_3} = \{4;4\}:(5)$ і $\tilde{X}_{12}^{НР, П_3} = \{5;2\}:(5)$. Отже, серед усіх 25 можливих варіантів стану агрегованого показника поточної якості продукту P_4 тільки 12 з них виявилися напруженими.

З рис. 4 видно, що стани агрегованого показника поточної якості продукту P_4 формують усі п'ять рівнів критерію оцінювання надійності роботи (НР) продукту з усіма п'ятьма станами агрегованого показника його якості P_3 . Тому далі проаналізуємо агрегований показник поточної якості продукту P_3 , де встановимо, які саме його стани забезпечують перехід системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого.

Крок 5. Оскільки забезпечення безпеки (Б) продукту та надання йому сумісності (С) є критеріями початкового оцінювання стану якості ПЗ, тому тепер проаналізуємо матрицю їхнього згортання (див. табл. 3, рис. 4). На підставі значень елементів цієї матриці потрібно вказати всі напружені варіанти якості ПЗ, які для показника P_3 мають оцінки 1, 2, 3, 4 і 5. Так, оцінку "критично" можна отримати за одним напруженим варіантом – $\tilde{X}_1^{Б, С} = \{1;1\}:(1)$; оцінку "погано" – за двома напруженими варіантами: $\tilde{X}_2^{Б, С} = \{1;3\}:(2)$ і $\tilde{X}_3^{Б, С} = \{2;1\}:(2)$; оцінку "задовільно" – за чотирма варіантами: $\tilde{X}_4^{Б, С} = \{1;5\}:(3)$, $\tilde{X}_5^{Б, С} = \{2;3\}:(3)$, $\tilde{X}_6^{Б, С} = \{3;2\}:(3)$ і $\tilde{X}_7^{Б, С} = \{4;1\}:(3)$; оцінку "добре" – за трьома напруженими варіантами: $\tilde{X}_8^{Б, С} = \{2;5\}:(4)$, $\tilde{X}_9^{Б, С} = \{3;3\}:(4)$ і $\tilde{X}_{10}^{Б, С} = \{4;2\}:(4)$, а оцінку "відмінно" отримуємо всього за двома напруженими варіантами: $\tilde{X}_{11}^{Б, С} = \{3;4\}:(5)$ і $\tilde{X}_{12}^{Б, С} = \{4;3\}:(5)$. Отже, серед усіх 25 можливих варіантів стану агрегованого показника поточної якості продукту P_3 тільки 12 з них виявилися напруженими.

Далі повернемося до аналізу агрегованого показника поточної якості продукту P_2 , де встановимо, які саме рівні вхідних критеріїв забезпечують перехід системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого.

Крок 6. Тепер проаналізуємо матрицю згортання критерію оцінювання зручності використання (ЗВ) продукту з агрегованим показником його поточної якості P_1 (див. табл. 2, рис. 4), які утворюють агрегований показник його якості P_2 . На підставі значень елементів цієї матриці 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 одним напруженими варіантом $\tilde{X}_1^{ЗВ, П_1} = \{1;1\}:(1)$; оцінку "погано" – за двома напруженими варіантами: $\tilde{X}_2^{ЗВ, П_1} = \{1;2\}:(2)$ і

$\tilde{X}_3^{3B, \Pi_1} = \{3; 1\} : (2)$; оцінку "задовільно" – за чотирма напруженими варіантами: $\tilde{X}_4^{3B, \Pi_1} = \{1; 4\} : (3)$, $\tilde{X}_5^{3B, \Pi_1} = \{2; 3\} : (3)$, $\tilde{X}_6^{3B, \Pi_1} = \{3; 2\} : (3)$ і $\tilde{X}_7^{3B, \Pi_1} = \{5; 1\} : (3)$; оцінку "добре" – за чотирма напруженими варіантами: $\tilde{X}_8^{3B, \Pi_1} = \{1; 5\} : (4)$, $\tilde{X}_9^{3B, \Pi_1} = \{2; 4\} : (4)$, $\tilde{X}_{10}^{3B, \Pi_1} = \{3; 3\} : (4)$ і $\tilde{X}_{11}^{3B, \Pi_1} = \{5; 2\} : (4)$, а оцінку "відмінно" мають також три напружені варіанти: $\tilde{X}_{13}^{3B, \Pi_1} = \{3; 5\} : (5)$, $\tilde{X}_{14}^{3B, \Pi_1} = \{4; 4\} : (5)$ і $\tilde{X}_{14}^{3B, \Pi_1} = \{5; 3\} : (5)$. Отже, серед усіх 25 можливих варіантів стану агрегованого показника поточної якості про-

дукту Π_1 тільки 14 з них виявилися напруженими. Ці варіанти згодом знадобляться для пошуку оптимальної системи управління якістю ПЗ.

З рис. 4 видно, що стани агрегованого показника поточної якості продукту Π_1 формують усі п'ять рівнів критерію оцінювання портативності (Π) продукту з усіма п'ятьма рівнями критерію оцінювання його зручності супроводу ($ЗС$). Тому далі проаналізуємо агрегований показник поточної якості продукту Π_1 , де встановимо, які саме його стани забезпечують перехід системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого.

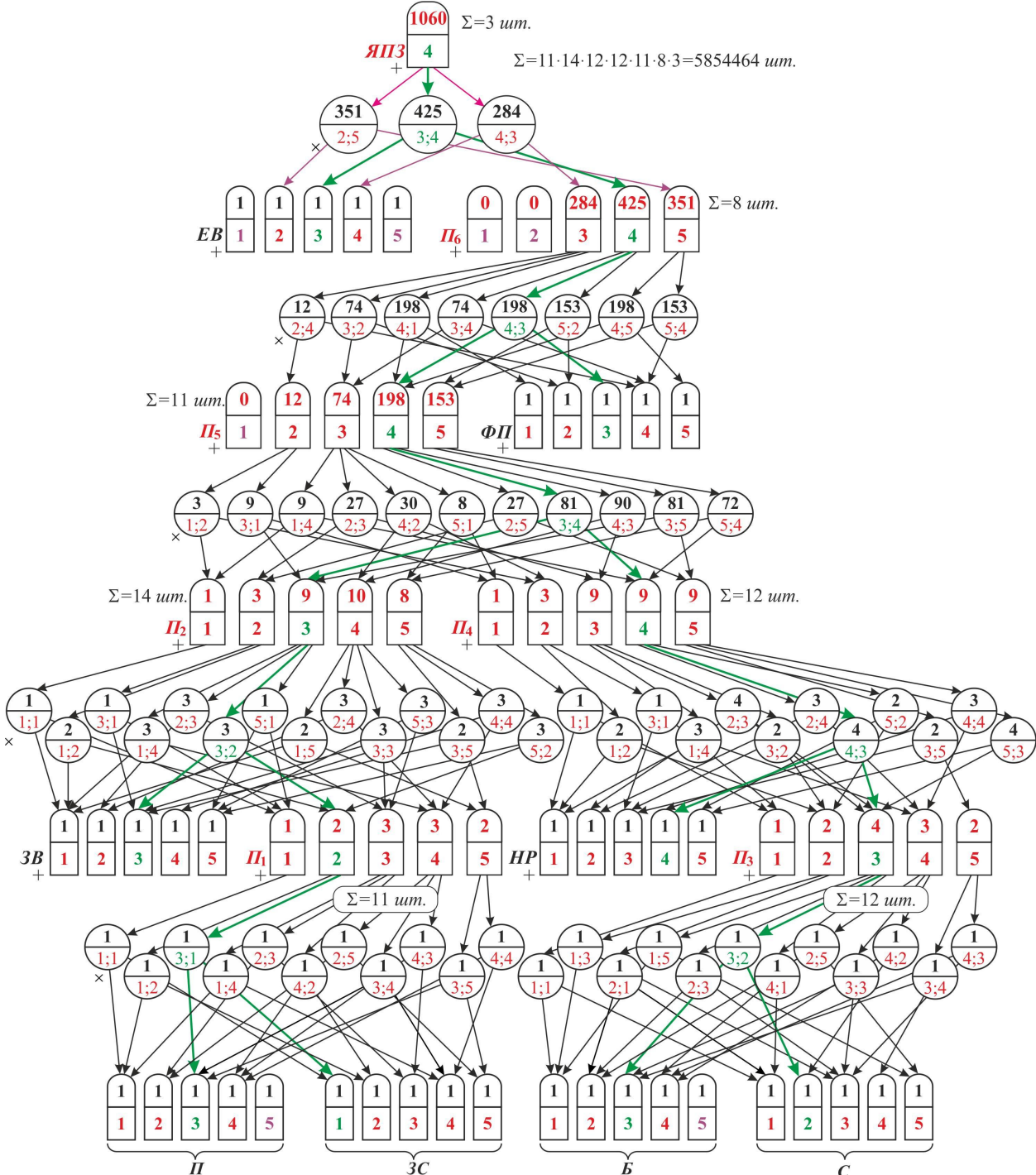


Рис. 5. Граф процедури формування множини напружених варіантів стану якості ПЗ / Graph of the procedure for forming a set of stressful options for the state of software quality

Крок 7. Забезпечення портативності (Π) продукту і його зручності супроводу ($ЗС$) є критеріями початкового оцінювання стану якості ПЗ, тому тепер проаналі-

зуємо матрицю їхнього згортання (див. табл. 1, рис. 4). На підставі значень елементів цієї матриці потрібно вказати всі напружені варіанти якості ПЗ, які для показ-

ника P_1 , які мають оцінки – 1, 2, 3, 4 і 5. Так, оцінку "критично" можна отримати тільки за одним напруженим варіантом: $\tilde{X}_1^{П,ЗС} = \{1;1\}:(1)$; оцінку "погано" – за двома варіантами: $\tilde{X}_2^{П,ЗС} = \{1;2\}:(2)$ і $\tilde{X}_3^{П,ЗС} = \{3;1\}:(2)$; оцінку "задовільно" – за трьома напруженими варіантами: $\tilde{X}_4^{П,ЗС} = \{1;4\}:(3)$, $\tilde{X}_5^{П,ЗС} = \{2;3\}:(3)$ і $\tilde{X}_6^{П,ЗС} = \{4;2\}:(3)$; оцінку "добре" – за трьома напруженими варіантами: $\tilde{X}_7^{П,ЗС} = \{2;5\}:(4)$, $\tilde{X}_8^{П,ЗС} = \{3;4\}:(4)$ і $\tilde{X}_9^{П,ЗС} = \{4;3\}:(4)$, а оцінку "відмінно" отримуємо всього за двома напруженими варіантами: $\tilde{X}_{10}^{П,ЗС} = \{3;5\}:(5)$ і $\tilde{X}_{11}^{П,ЗС} = \{4;4\}:(5)$.

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

Метод індексації вершин графа. Тепер, маючи на кожному ієрархічному рівні множину напружених варіантів стану 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) [15]:

- 1-ий крок – позначаємо початкові вершини-квадрати множини розв'язків індексами зі значенням 1 (на рис. 5 індекси вказані у верхній половині квадратів і кружечків);
- 2-ий крок – рухаючись знизу до верху, послідовно позначаємо всі інші вершини відповідними індексами.

Тут використовуємо таке числове маркування вершин відповідними індексами. Індекс вершини-кружка дорівнює добутку індексів суміжних з нею двох вершин нижнього рівня. Наприклад (див. рис. 5), для вершини $\tilde{X}_5^{ЗВ,П_1} = \{2;3\}:(3)$ отримаємо $1 \cdot 3 = 3$ шт., а для вершини $\tilde{X}_4^{П_2,П_4} = \{2;3\}:(3)$ матимемо $3 \cdot 9 = 27$ шт. Індекс вершини-квадрата на рис. 5 відповідає сумі індексів суміжних з нею вершин нижнього рівня. Наприклад, для агрегованого показника поточної якості продукту P_5 з оцінкою "3" отримаємо $9 + 27 + 30 + 8 = 74$ шт, а з оцінкою "4" матимемо $27 + 81 + 90 = 198$ шт. Водночас, індекс початкової вершини-квадрата визначає початкову кількість напружених варіантів, зазвичай одиницю.

Обґрунтування адекватності роботи цього алгоритму безпосередньо виходить з описаного методу визначення індексів вершин графа, внаслідок чого отримуємо відповідну множину розв'язків задачі (див. рис. 5).

Внаслідок виконання розглянутих вище дій отримаємо граф (рис. 5), який містить множину всіх напружених варіантів стану якості ПЗ (Парето-гоптимальних альтернатив у просторі розглядуваних критеріїв), що мають значення комплексного показника їх оцінювання зі значенням "добре". З рисунку також видно, що отриману кількість напружених варіантів стану якості ПЗ для кожного агрегованого показника їх оцінювання показано у верхніх частинах вершин графа, а саме: 11, 14, 12, 12, 11, 8 і 3 шт. Тоді загальна кількість можливих варіантів якості ПЗ становитиме $11 \cdot 14 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 11 \cdot 8 \cdot 3 = 5854464$ шт. Водночас, кількість напружених варіантів стану якості ПЗ, які забезпечують перехід системи управління якістю ПЗ від стану з оцінкою "задовільно" до стану з оцінкою "добре", становить всього 1060 шт, тобто 0,018 % від загальної кількості.

Для отримання якого-небудь напруженого варіанта стану якості ПЗ потрібно виконати такі дії. Розглядаємо остаточно вершину (вихід) множини розв'язків (ЯПЗ) зі значенням 1060. З неї виходять три дуги. Беремо будь-яку з них, наприклад, дугу, яка веде у вершину $\tilde{X}_2^{ЕВ,П_6} = \{3;4\}$, з якої також виходять дві дуги, які запам'ятовуємо. Дуга, яка веде у вершину 3 за критерієм (ЕВ), 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_6 , вказує на те, що за ним потрібно досягти стану якості ПЗ з оцінкою "добре". З трьох перехідних варіантів досягнення значення "добре" за показником якості продукту P_6 вибираємо будь-який варіант (наприклад, вершину $\tilde{X}_5^{П_5,ФП} = \{4;3\}$) стану якості ПЗ, яка відповідає оцінці "добре" за агрегованим показником P_5 , і оцінці "задовільно" – за критерієм НР. З наступних перехідних варіантів досягнення значення "добре" за показником P_5 вибираємо будь-який з трьох можливих варіантів, наприклад, вершину $\tilde{X}_8^{П_2,П_4} = \{3;4\}$, яка вказує на те, що за нею потрібно досягти стану якості продукту з оцінкою "задовільно" за показником P_2 та оцінку "добре" – за показником P_4 .

Оскільки тут є два агреговані показники поточної якості продукту P_2 і P_4 , то далі вибираємо показник P_4 , а вже потім повернемось до показника P_2 .

Наступні перехідні варіанти досягнення значення "добре" за показником P_4 вибираємо будь-який з двох можливих варіантів, наприклад, вершину $\tilde{X}_8^{НР,П_3} = \{4;3\}$, яка вказує на те, що за нею потрібно досягти рівня якості ПЗ з оцінкою "добре" за критерієм НР та з оцінкою "задовільно" – за показником P_3 . Наступні перехідні варіанти досягнення значення "добре" за показником P_3 вибираємо будь-який з чотирьох можливих варіантів, наприклад, вершину $\tilde{X}_6^{З,С} = \{3;2\}$, яка вказує на те, що за нею потрібно досягти рівня якості ПЗ з оцінкою "задовільно" за критерієм (Б) та з оцінкою "погано" – за критерієм "С".

Тепер повертаємось до показника поточної якості продукту P_2 . Наступні перехідні варіанти досягнення значення "задовільно" за показником P_2 вибираємо будь-який з чотирьох можливих варіантів, наприклад, вершину $\tilde{X}_6^{ЗВ,П_1} = \{3;2\}$, яка вказує на те, що за нею потрібно досягти рівня якості ПЗ з оцінкою "задовільно" за критерієм ЗВ та з оцінкою "погано" – за показником P_1 . Наступні перехідні варіанти досягнення значення "погано" за показником P_1 вибираємо будь-який з двох можливих варіантів, наприклад, вершину $\tilde{X}_3^{П,ЗС} = \{3;1\}$, яка вказує на те, що за нею потрібно досягти рівня якості ПЗ з оцінкою "задовільно" за критерієм П та з оцінкою "критично" – за критерієм "ЗС".

Отриманому напруженому варіанту системи управління якістю ПЗ відповідає підграф множини розв'язків, виділений на рис. 5 товстими дугами. Він визначає множину початкових і поточних напружених варіантів стану якості ПЗ, а саме: $\tilde{X}^{ЯПЗ} = \{3; 1; 3; 2; 3; 2; 4; 3; 3; 4; 4; 3; 3; 4\}$, що відповідає такій послідовності критеріїв і показників якості ПЗ: П; ЗС; ЗВ; П₁; Б; С; НР; П₃; П₂; П₄; П₅; ФП; ЕВ; П₆.

Отже, розроблений метод відбору напружених варіантів стану системи якості ПЗ за вхідними критеріями

чи агрегованими показниками дає змогу визначити точний стан якості продукту за відповідним агрегованим показником. З'ясовано, що основною особливістю ієрархічної структури є агрегування в кожному вузлі дерева рішень тільки двох критеріїв чи агрегованих показників якості ПЗ, що є основним достоїнством цього методу. Водночас, розроблений метод вибору оптимального варіанту системи управління якістю ПЗ з множини допустимих альтернатив враховує ієрархічну структуру 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 стану 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. 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

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

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 варіанту системи управління якістю ПЗ з мінімальною вартістю його розроблення, основою якого є метод індексації вершин графа.

Позначасмо початкові вершини графу (множини розв'язків задачі) елементами $s_j^{(k)}, k = \overline{1, m}$. Вершини наступного (вищого) рівня множини напружених варіантів стану 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 дорівнює мінімальним витратам на реалізацію відповідного варіанту системи управління якістю ПЗ. Оптимальний варіант знаходимо "зворотним ходом" – зверху вниз. Для розв'язання задачі вибору оптимального варіанта запровадження 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. 8).

Табл. 8. 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
<i>П</i>	6	11	14	17	18
<i>Б</i>	8	16	21	24	26
<i>ЗС</i>	14	29	37	45	47
<i>С</i>	18	36	46	54	59
<i>ЗВ</i>	24	48	62	72	80
<i>НР</i>	29	58	75	87	96
<i>ФП</i>	33	67	86	102	111
<i>ЕВ</i>	37	74	96	112	124

Значення елементів вершин графа (множини розв'язків задачі), отримані на підставі описаного вище алгоритму, вказано на рис. 6 у верхній половині відповідних вершин. Оптимальний варіант виділено товстими лініями. Це варіант системи $\tilde{X}^{яПЗ} = \{3; 5; 1; 5; 4; 2; 1; 4; 4; 3; 4; 1; 4; 3\}$ з сукупними витратами $s_0 = 319$ ум. од., який відповідає збалансованому варіанту системи управління якістю ПЗ за всіма вісьмома критеріями і шістьма агрегованими показниками. Поставлена задача вибору множини варіантів системи управління якістю ПЗ розв'язана.

Отже, у наведеному прикладі реалізації системи управління якістю ПЗ показано сутність зазначеного методу вибору оптимального її варіанту, а також проілюстровано метод відбору напружених варіантів стану системи якості ПЗ за двома 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 критеріїв на підставі побудови їхньої ієрархічної структури (дерева) відбору [19]. Ідея методу належить Thomas L. Saaty [44] і полягає в тому, що всі критерії організують 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 [47], М. Г. Грещак [13], М. В. Кармінська-Белоброва [32], В. Є. Снитюк [12], В. Ф. Ситник [43], Y. Buda-retskiy [7], Challa, Jagat Sesh [9], H. Ghanbari [11], Gül Çalıklı [14] та інші.

У процесі вироблення управлінських рішень особі, яка їх приймає (ОПР), доводиться враховувати велику кількість показників, критеріїв, чинників, що впливають на мету, поставлену в технічному завданні [2], [17], [45]. Прийняти "правильне" рішення означає вибрати таку альтернативу (такий варіант дії) з множини допустимих, яка максимально сприятиме досягненню поставленої мети [1], [40]. Окрім цього, практично в будь-яких реальних завданнях існують різного роду невизначеності, пов'язані з суперечливістю критеріїв / показників відбору, неповнотою знань ОПР про вирішувану проблему, неможливістю кількісного вимірювання тих або інших показників чи врахування випадкових чинників [10], [19], [33], [34]. Досягнення сучасних інформаційних технологій дає змогу досліджувати й розробляти досконалі методи й сучасні моделі прийняття уп-

равлінських рішень [12], [41], [43], головним призначенням яких є допомога керівнику чи менеджеру проекту під час вибору оптимального його варіанту, в т.ч. й варіанту системи управління якістю ПЗ в ІТ-компанії з множини допустимих.

Отже, внаслідок проведеного дослідження отримано такі *основні результати*: розроблено систему управління якістю ПЗ, яка дає змогу визначити стан його якості на кожному ієрархічному рівні агрегованих показників його поточної якості з урахуванням вартості реалізації проекту, а також дає можливість встановити потенційні витрати для переходу системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше на підставі стандартної моделі якості програмного продукту розроблено ієрархічну структуру

критеріїв і агрегованих показників якості ПЗ, що дало змогу встановити характеристики та підхарактеристики системи комплексного його оцінювання з урахуванням функціональних можливостей системи управління якістю ПЗ і допустимих варіантів її використання.

Практична значущість результатів дослідження – розроблена система управління якістю ПЗ на підставі стандартної моделі якості програмного продукту може бути використана в інженерії ПЗ для встановлення його властивостей та вироблення рекомендацій щодо управління ними і визначення оптимальних значень, а також для з'ясування поточного стану якості як продуктів проекту, так і готового ПЗ, а також потенційних витрат для переходу системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого з визначенням його поточних станів на кожному ієрархічному рівні.

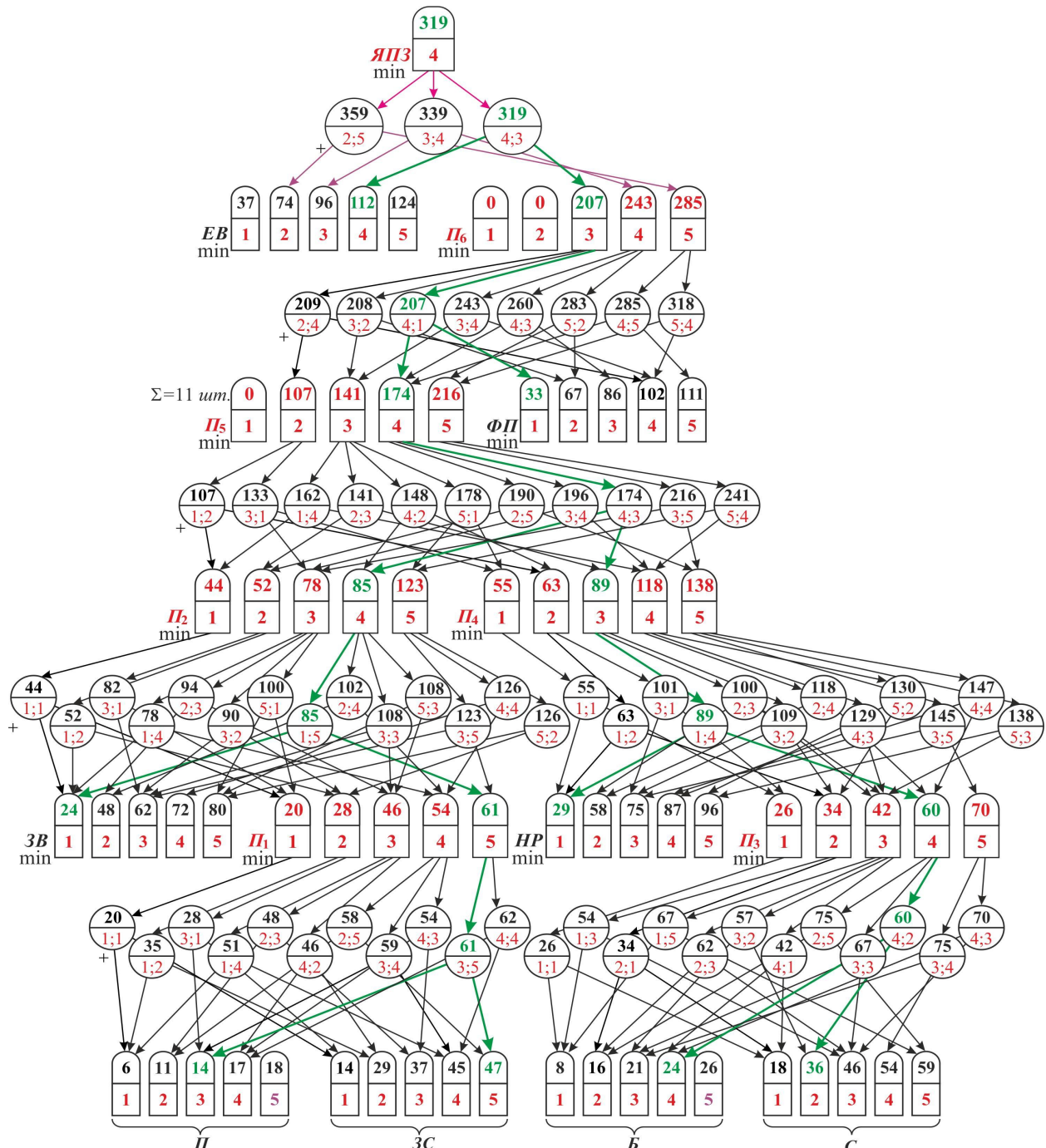


Рис. 6. Граф процедури формування множини напружених варіантів стану якості ПЗ з урахуванням вартості його розроблення / Graph of the procedure for forming a set of stressful options for the quality of software, taking into account the cost of its development

Висновок / Conclusions

Розроблено систему управління якістю ПЗ, яка дає змогу визначити стан його якості на кожному ієрархічному рівні агрегованих показників поточної якості з урахуванням вартості його розроблення, а також надає можливість встановити потенційні витрати для переходу системи управління якістю ПЗ 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 якість ПЗ – багатопланове поняття, яке можна виразити адекватно тільки деякою структурованою системою характеристик та атрибутів, яку прийнято називати моделлю якості програмного продукту. Для оцінювання якості ПЗ було використано комплекс критеріїв і агрегованих показників, які максимально його характеризують насамперед стосовно функціональних можливостей і варіантів використання.

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 її структури. Встановлено, що модель якості – головний атрибут системи оцінювання якості ПЗ, позаяк визначає, які характеристики якості продукту потрібно враховувати при встановленні його властивостей. Рівень, за якого ПЗ задовольняє заявлені та опосередковані потреби різних зацікавлених сторін і, в такий спосіб, забезпечує його значущість для них, є саме тими властивостями, що відображено в моделі якості, яка класифікує їх на характеристики та підхарактеристики.

3. Розроблено метод вибору оптимального варіанту системи управління якістю ПЗ з множини допустимих альтернатив, який враховує ієрархічну структуру критеріїв і агрегованих показників його якості на кожному ієрархічному рівні. Встановлено, що задача вибору оптимального варіанту системи управління якістю ПЗ з урахуванням таких критеріїв, як портативність продукту та його зручність супроводу, безпеки продукту та його сумісності, а також надійності роботи продукту та зручності його використання, функціональної придатності продукту та ефективності його виконання належить до задач багатокритеріальної оптимізації.

4. Розроблено метод відбору напружених варіантів стану системи якості ПЗ за вхідними критеріями чи агрегованими показниками, що дало змогу визначити поточний стан системи управління якістю ПЗ за відповідним агрегованим показником з урахуванням вартості його розроблення. З'ясовано, що основною особливістю ієрархічної структури є агрегування в кожному вузлі дерева рішень тільки двох критеріїв чи агрегованих показників якості ПЗ, що є основним достоїнством цього методу.

5. Наведено приклад реалізації системи управління якістю ПЗ, що дає змогу зрозуміти сутність зазначеного методу вибору оптимального її варіанту, а також методу відбору напружених варіантів стану системи управління якістю ПЗ за двома 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

- [1] Alyoshin, G. V., Panchenko, S. V., & Prikhodko, S. I. (2019). *Optimization of digital transmission systems: textbook*. Kharkiv: Publishing house UkrDUZT, 142 p. [In Ukrainian].
- [2] Alyoshin, G., Kolomytsev, O., & Tretyak, V. (2020). Features of optimal synthesis of rich information systems. *Collection of scientific works АГОС*, 81–84. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.23>
- [3] 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>
- [4] Boehm, J. (2008, March-April). A new Standard for Quality Requirements. *IEEE Software*, 25(2), 57–63. <https://doi.org/10.1109/MS.2008.30>
- [5] Botsula, M. P., & Morhun, I. A. (2011). Metod otrymannia kompleksnoi otsinky yakosti veb-materialiv z vykorystanniam poliarnoi systemy koordynat. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu*, 1, 84–88. Retrieved from: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1367/conferences.vntu.edu.ua>. [In Ukrainian].
- [6] Botsula, M. P., & Morhun, I. A. (2014). Novyi metod ta informatsiina tekhnolohiia obroblyennia danykh dlia upravlinnia yakistiu elektronnykh navchalnykh kursiv. *Informatsiina tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia: mizhnarodnyi naukovo-tekhnichniy zhurnal*, 3, 25–33. Retrieved from: https://nbuv.gov.ua/UJRN/Itki_2014_3_6. [In Ukrainian].
- [7] 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>
- [8] 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].
- [9] 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>
- [10] Gevko, I. B. (2009). *Methods of making managerial decisions: textbook*. Kyiv: Condor, 187 p.
- [11] 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>
- [12] Gnatienco, G., & Snytyuk, V. Ye. (2008). *Expert decision-making technologies: monograph*. Kyiv: McLaugh Limited Liability Company, 444 p. [In Ukrainian].
- [13] 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].
- [14] Gül Çalkılı & 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>
- [15] Hrytsiuk, Yu. I. (2022). Comprehensive software quality assessment system. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(2), 81–95. <https://doi.org/10.36930/40320213>
- [16] Hrytsiuk, Yu. I., & Andrushchakevych, 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>

- [17] 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>
- [18] 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>
- [19] 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].
- [20] 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>
- [21] 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>
- [22] 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>
- [23] Hrytsiuk, Yu., Grytskyuk, 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, 134–137), 17–20 September, Lviv, Ukraine. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 206 p. <https://doi.org/10.1109/stc-csit.2019.8929778>
- [24] ISO 9001:2015 Quality Management System – Requirements. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- [25] 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>
- [26] 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)
- [27] ISO/IEC 9126-1:2001. (2022). Software Engineering – Product Quality. Part 1: Quality model. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/22749.html>
- [28] 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>
- [29] ISO/IEC TR 9126-2:2003 Software Engineering – Product Quality – Part 2: External metrics. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/22750.html>
- [30] ISO/IEC TR 9126-3:2003 Software Engineering – Product Quality – Part 3: Internal metrics. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/22891.html>
- [31] 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>
- [32] Karminskaya-Belobrova, M. V. (2012). Organizational structures of enterprise management. *BusinessInform*, 12, 192–195. [In Ukrainian].
- [33] 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].
- [34] 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/Prynyat-tia_rishen-.pdf. [In Ukrainian].
- [35] 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>
- [36] 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>
- [37] 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].
- [38] Pomorova, O. V., & Hovorushchenko, T. O. (2013a). Modern problems of software quality assessment. *Radio electronic and computer systems*, 5, 319–327. Kharkiv: NAU "KhAI". Retrieved from: <https://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/1497>. [In Ukrainian].
- [39] Pomorova, O., & Hovorushchenko, T. (2013b). 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>
- [40] 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].
- [41] Prymak, V. M. (2008). *Management Decision Making*: Tutorial. Kyiv: Attica Publishing House, 240 p. [In Ukrainian].
- [42] 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)
- [43] Sytnyk, W. F. (2004). *Decision Support Systems*: Tutorial. Kyiv: Publishing house KNEU, 614 p. [In Ukrainian].
- [44] 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\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- [45] 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].
- [46] Volkaya, 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)
- [47] Voronin, A. N., Ziatdinov, Yu. K., & Kulinsky, M. V. (2011). Multicriteria tasks: models and methods: monograph. Kyiv: NAU Publishing House. 348 p. [In Russian].

Yu. I. Hrytsiuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

SOFTWARE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

The Software quality management system has been developed. The system allows you to determine the state of software quality at each hierarchical level of the management system, taking into account the cost of ensuring the required quality. The system also allows the IT company manager to set the potential costs for the transition of software quality indicators from one state to

another. It was found out that software quality is a multifaceted concept that can be adequately expressed by some hierarchical structure of characteristics and attributes, which is called the model of software product quality. To assess the quality of the software, a set of criteria and aggregate indicators were used, which maximally characterise it in terms of functionality and usage options. It is established that the software quality model is the main attribute of the complex system of its assessment. The quality model determines which characteristics of the software product must be taken into account when transiting the control system from one state to another. The level of software quality that meets the stated and indirect needs of various stakeholders and is relevant to them is directly reflected in the quality model of the software product in the form of its properties. The software quality model classifies product properties into characteristics and sub-characteristics.

A method for selecting stressful variants of software quality state according to input criteria or aggregate indicators of its current quality has been developed. The method allows to determine the current state of software quality at each hierarchical level according to the corresponding aggregate indicator, taking into account its development cost. A method for selecting the optimal version of the software quality management system from the set of permissible has been developed. The method takes into account the structure of criteria and aggregated indicators of current software quality at each hierarchical level of the management system. It is established that the task of choosing the optimal version of the software quality management system belongs to the tasks of multicriteria optimization. The task takes into account the following criteria: portability of the product and its ease of maintenance, product safety and compatibility, ease of use of the product and reliability of its work, as well as the functional suitability of the product and its efficiency of use. An example of implementation of the software quality management system in both quantitative and cost ratio is given. The example allows us to understand the essence of the method of choosing the optimal variant for the management system, as well as the features of the method of selection of stressful variants of the system state according to two criteria or aggregate indicators.

Keywords: software product quality model; quality criteria and indicators; hierarchical structure; management system; methods of making managerial decisions.

Інформація про автора:

Грицюк Юрій Іванович, д-р техн. наук, професор кафедри програмного забезпечення.

Email: yurii.i.hrytsiuk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-8183-3466>

Цитування за ДСТУ: Грицюк Ю. І. Система управління якістю програмного забезпечення. *Український журнал інформаційних технологій*. 2022, т. 4, № 1. С. 01–20.

Citation APA: 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>