

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

**Боднарчук Ігор Орестович**

УДК 004.415.5

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ ПРОЕКТУВАННЯ  
АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
З ВРАХУВАННЯМ ВИМОГ ЯКОСТІ**

**01.05.03 – математичне та програмне забезпечення  
обчислювальних машин і систем**

**АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

Львів – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Науковий керівник** – кандидат технічних наук, доцент  
**Харченко Олександр Григорович**,  
Національний авіаційний університет (м. Київ),  
професор кафедри комп'ютерних  
інформаційних технологій

**Офіційні опоненти:** – доктор технічних наук, професор,  
**Литвин Василь Володимирович**  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
завідувач кафедри інформаційних систем та мереж

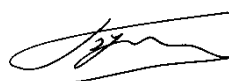
кандидат технічних наук, доцент  
**Хоменко Володимир Анатолійович**  
Інститут програмних систем НАН України,  
заступник завідувача відділом автоматизованих  
систем програмно-цільового управління

Захист відбудеться 01 липня 2015 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05 Національного університету "Львівська політехніка" за адресою: 79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного університету "Львівська політехніка" за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розіслано " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2015 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
доктор технічних наук, професор



Р.А.Бунь

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У зв'язку із зростаючою складністю програмних систем (ПС) стає все важче задовольняти вимоги якості під час їх проектування. У даний час у програмній інженерії використовується два підходи до забезпечення якості ПС, які реалізують відповідні процеси життєвого циклу, визначені в стандарті ISO/IEC 12207:2008.

У першому підході реалізується процес "гарантування якості" шляхом впровадження в технологію проектування стандартів з якості та відповідних процедур, таких як інспекції, оглядові наради та інші. Найбільш повно він впроваджений у методі гнучких технологічних ліній, технології бездефектної розробки Cleanroom, використанні моделі зрілості організації розробника – СММ та інших. Впровадження цих технологій дає змогу значно підвищити якість продукції, але характеризується великою трудомісткістю і вартістю та економічно виправданий для великих компаній з широким набором проектів.

Другий підхід базується на реалізації процесу "управління якістю", шляхом моніторингу якості проміжних продуктів на етапах життєвого циклу, таким чином, щоб характеристики спроектованого кінцевого продукту відповідали вимогам якості. Одним з перших етапів життєвого циклу є розробка програмної архітектури (ПА), і вибрані на цьому етапі проектні рішення значною мірою визначають якість ПС. Для впровадження цього підходу необхідно розв'язати дві задачі:

- розробити метод визначення вимог якості до проміжних продуктів на основі вимог до ПС;
- розробити методи проектування проміжних продуктів з врахуванням вимог якості.

Методи комунікації (трасування) функціональних вимог розроблені досить повно в роботах таких вчених, як А.А. Летичевський, В.С. Харченко, І. Соммервіл, Д. Брауде, Е. Халл, К. Вігерс та інших. Однак, комунікація вимог якості має свої особливості, оскільки неможливо встановити явний зв'язок між елементами вимог на суміжних етапах життєвого циклу ПС. Тому ця задача потребує проведення додаткових досліджень.

Одним з перших і найважливіших етапів життєвого циклу ПС є розробка її архітектури, оскільки вона є абстрактною моделлю високого рівня для представлення структури і ключових властивостей ПС, і тому вибір якісного проекту ПА є передумовою забезпечення якості ПС.

Задачі, пов'язані з проектуванням архітектури, досліджувались у роботах вітчизняних (П. Андон, К. Лавріщева, Г. Коваль) та закордонних вчених (М. Фаулер, Е. Брауде, Л. Басс, Р. Кацман, М. Сванберг, Д. Спінелліс, Е. Гамма). Ними розроблено ряд методів аналізу архітектурних рішень – це АТАМ, SAAM, СВAM. Вони дають змогу оцінювати програмні архітектури на предмет задоволення ними вимог якості. Ці методи базуються на моделюванні сценаріїв використання групою експертів. Однак, у сценарії розглядається лише один варіант архітектури і оцінювання проводиться згідно до одного критерію якості, що унеможливує

проведення порівняльного оцінювання декількох альтернатив, з метою вибору кращої з них.

У роботах М.Сванберга, Ал-Наема, Л. Жу, Д. Дж. Річардсон розроблено технології порівняльного оцінювання альтернативних архітектур на основі методу аналізу ієрархій (МАІ) Сааті. Це було певним кроком у напрямку розв'язування задачі вибору найкращого архітектурного рішення з множини альтернатив, а також дало змогу формалізувати процедури їх вибору на основі МАІ.

Суттєвим недоліком цих робіт є те, що в них не розглядається питання обґрунтованого вибору критеріїв якості ПА, а кількість порівнюваних альтернатив суттєво обмежена специфікою використання стандартного МАІ ( $n \leq 7 \pm 2$ ).

Отже, актуальною науковою задачею під час проектування ПА з врахуванням вимог якості є розробка формалізованих методів визначення вимог якості до архітектури ПС та методів оцінювання альтернативних архітектурних рішень згідно до множини критеріїв якості при значній кількості альтернатив ( $n \gg 9$ ). Також потребує додаткових досліджень процедура прийняття багатокритеріальних рішень при виборі з множини альтернатив варіанта ПА, оскільки використання скалярної згортки для оцінки альтернатив на множині критеріїв некоректне, коли критерії є непорівнюваними. Необхідно досліджувати питання чутливості отриманого ранжування альтернатив до зміни вимог якості, і також компроміси, які допускаються під час оцінюванні альтернатив на множині критеріїв якості з використанням скалярної згортки.

Окрім цього важливою є побудова інформаційної системи підтримки прийняття рішень архітектора ПС, яка реалізує ці методи. Така система дозволить архітектору обґрунтовано вибирати показники якості архітектури, а також не тільки розв'язувати задачу багатокритеріального вибору архітектури з великої кількості альтернатив, але й оперативно корегувати рішення при зміні вимог.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана відповідно до наукової тематики кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя і є складовою частиною науково-дослідної роботи "Розробка, дослідження та впровадження методів і засобів контролю та управління якістю програмних продуктів" (договір ДІ 207-13, номер держреєстрації 0113U000258), яка виконується за держзамовленням.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка методів і засобів проектування архітектури програмних систем з врахуванням вимог якості.

Для досягнення вказаної мети в рамках дисертаційної роботи було сформульовано та розв'язано такі задачі:

- дослідити сучасний стан технологій проектування архітектури ПС з врахуванням показників якості;
- розробити модель якості архітектури ПС та метод проектування ПА;
- розробити метод порівняльного оцінювання архітектур ПС для великої кількості альтернатив ( $n \gg 9$ );
- дослідити ефективність модифікованого методу аналізу ієрархій у задачі порівняльного оцінювання архітектур ПС;

- дослідити чутливість ранжування альтернативних ПА до зміни пріоритетів критеріїв якості, викликаних зміною вимог предметної області;
- реалізувати розроблені методи у складі підсистеми підтримки прийняття рішень архітектора ПС;
- розробити програмне забезпечення підсистеми підтримки прийняття рішень архітектора ПС.

*Об'єкт дослідження* – процеси забезпечення, контролю та управління якістю архітектури програмних систем.

*Предмет дослідження* – методи та засоби проектування архітектури ПС, які забезпечують вимоги якості.

**Методи дослідження.** Для досягнення мети дисертаційної роботи використовувались:

- методи узагальнення та аналізу – під час виконання огляду стану проектування архітектури ПС з врахуванням показників якості;
- методи формалізації та математичного моделювання – під час розробки методу визначення показників якості архітектури та при розв'язуванні задачі вибору архітектурного рішення;
- методи оцінювання альтернативних проектів на ієрархічній структурі;
- методи оптимізації для адаптації та застосуванні модифікованого методу аналізу ієрархій (ММАІ) для оцінювання ПА;
- метод компенсації та заміщення для розв'язку задачі оперативної корекції оцінок альтернатив, коли вимоги якості змінюються;
- проектування та програмування – для побудови програмного комплексу системи підтримки прийняття рішень архітектора ПС;
- методи та засоби об'єктно-орієнтованого проектування – для опису архітектур ПС як каркасу, який реалізує функціональність системи і побудований на основі патернів проектування.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна полягає у розв'язанні наукового завдання розроблення методів управління якістю програмних систем на етапі проектування архітектури. При цьому було отримано такі результати:

- вперше розроблено метод визначення показників якості архітектури на основі стандартизованих характеристик якості, який на відміну від існуючих методів оцінки якості програмної архітектури дозволяє уникнути неоднозначності у розумінні змісту характеристик якості та надає у розпорядження розробника весь набір артефактів стандарту для оцінки якості програмної архітектури;
- вперше розроблено метод оцінювання альтернативних архітектур на основі багатокритеріальної ієрархічної оптимізації, що дало змогу формалізувати та автоматизувати процес вибору архітектурного рішення із наявних проектних альтернатив;

- отримав подальший розвиток метод визначення чутливості ранжування альтернатив за значеннями інтегрального показника якості до зміни пріоритетів критеріїв якості, викликану зміною вимог якості до ПС;
- вперше розроблено метод оперативної корекції альтернатив при зміні вимог якості, що дало змогу вибрати потрібне архітектурне рішення без повторного проектування архітектури;
- розроблено архітектуру програмного комплексу системи підтримки прийняття рішень архітектора ПС при виборі варіанта архітектурного рішення.

**Практичне значення одержаних результатів.** Всі розроблені методи доведені до практичного впровадження у складі системи підтримки прийняття рішень (СППР) архітектора ПС. Розроблена СППР дозволяє реалізувати процес управління якістю ПС на етапі проектування архітектури шляхом розробки вимог якості до архітектури на основі вимог до ПС, оцінювання та вибору найкращої з альтернативних архітектур для визначеної множини критеріїв якості, можливості оперативної корекції оцінок під час зміни вимог якості. А це дасть змогу підвищити якість проекту та зменшити ризик невідповідності виконаних проектів вимогам замовника.

Запропоновані методи проектування та розроблена СППР впроваджені у навчальний процес у Тернопільському національному технічному університеті ім. Івана Пулюя на кафедрі комп'ютерних наук для викладання дисциплін "Управління ІТ-проектами", "Технологія створення програмних продуктів", "Сервісно-орієнтована архітектура", "Прийняття рішень в інформаційних управляючих системах", "Теорія прийняття рішень".

Інструментальний засіб проектування архітектури ПС з врахуванням показників якості впроваджено у підприємстві з розробки програмного забезпечення "Об'єднання ЮГ" та ТОВ "Яваре".

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати, що виносяться на захист отримані автором особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, що висвітлюють питання даного дослідження, здобувачу належать: у роботах [6, 7, 8, 11, 14, 22] розроблення концепції та методу визначення вимог якості до архітектури на основі вимог якості до ПС та дослідження задачі проектування показників якості для архітектури програмних застосувань (для уніфікації запропоновано проектувати модель якості архітектури на основі стандартизованих характеристик якості, в цих роботах використано метод для комунікації показників якості на різних етапах проектування системи); у роботах [12, 17, 20, 21] – розроблення та дослідження рішення для проблеми вибору архітектури як задачі багатокритеріального аналізу на основі модифікованого методу аналізу ієрархій; у роботах [1, 5] вибір архітектури ПС на основі аналізу компромісів; у роботах [3, 13] досліджено стійкість розв'язків задачі багатокритеріальної оптимізації; у роботах [15, 16, 19] – метод вибору архітектури, як рішення задачі багатокритеріальної ієрархічної оптимізації; роботи [4, 9, 10, 18] містять опис принципів функціонування та структури експертної системи, яка реалізує запропоновані методики вибору архітектури.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення роботи доповідались, розглядались та обговорювались на міжнародних наукових конференціях, всеукраїнських наукових конференціях, наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Матеріали дисертаційного дослідження доповідались та обговорювались на 7 міжнародній науковій конференції "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems" (IDAACS) (Берлін, 2013 р.), Міжнародних науково-технічних конференціях "Computer Science and Information Technologies" (CSIT) (Львів, 2011-2014 рр.), I Міжнародній конференції TCSET'2012, присвяченій 60-річчю заснування радіотехнічного факультету у Львівській політехніці "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії" (Славське, 2012 р.), XII Міжнародній науково-технічній конференції "Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці" (CADSM 2013) (Львів – Поляна, 2013 р.), Міжнародній науково-технічній конференції "Перспективні технології і методи проектування МЕМС" (Львів-Поляна, 2012-2014 рр.), Міжнародній науково-практичній конференції "Математичне та імітаційне моделювання систем в інформаційних технологіях" (MODS) (Чернігів, 2012 р.), VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції "Комп'ютерні технології: наука і освіта" (Київ, 2013 р.), II науково-технічній конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" (Тернопіль, 2012),

**Публікації.** Результати дисертаційної роботи опубліковані у 22 наукових працях, з яких 7 статей у фахових наукових виданнях України, 1 стаття в науковому журналі в США, інші 14 – у матеріалах конференцій.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації – 162 сторінки, у тому числі 44 ілюстрації, 11 таблиць, 3 додатки і список використаних джерел із 89 найменувань. Обсяг основного тексту дисертації – 162 сторінки.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, викладено основні задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, вказано зв'язок роботи з науковими темами. Розглянуто практичну цінність та результати впровадження роботи, викладено особистий внесок здобувача та апробацію роботи.

**У першому розділі** виконано аналіз сучасного стану забезпечення і контролю якості програмних систем на етапах життєвого циклу. Показано, що процеси управління та забезпечення якості ПС є визначальними для загальної мети проектування ПС – надання замовникові якісного програмного продукту.

У загальній архітектурі процесів життєвого циклу ПС безпосередньо з якістю пов'язані два з них – це процес забезпечення (гарантії) якості – SQA (Software Quality Assurance) та організаційний процес управління якістю. Перший з процесів стосується впровадження стандартів якості та відповідних процедур у розробку ПС та оцінки на відповідність цим стандартам. Цей процес окремо описаний у стандарті

ISO 12207. Інший процес, управління якістю, включений в архітектуру процесів життєвого циклу для моніторингу досягнення встановлених вимог замовника до якості ПС.

Цілі процесу SQA повинні відповідати цілям задоволення вимог користувача до якості ПС. Контроль відповідності цілей процесу SQA цілям якості ПС здійснює процес управління якістю. Відповідно до ISO 12207 призначення процесу управління якістю полягає в моніторингові якості ПС і гарантуванні того, що ПС буде задовольняти вимоги користувача. У результаті виконання процесу управління якістю цілі якості, які базуються на виявлених та передбачуваних вимогах до якості, встановлено для різних етапів життєвого циклу (ЖЦ). Одним з таких етапів є проектування архітектури ПС.

Розробка архітектури програмної системи є одним з перших етапів проектування. У дисертаційній роботі описано проблему втілення процесів забезпечення та керування якістю для цього етапу життєвого циклу ПС. На сьогодні відсутні стандарти для оцінювання як якості архітектури, так і якості її опису, про що сказано у стандарті ISO 42010, який регламентує опис архітектури. Через відсутність стандартів виникають проблеми під час реалізації процесу контролю якості архітектури.

На основі аналізу літературних джерел та практик існуючих підходів встановлено, що для оцінювання якості ПА часто використовують показники якості ПС, які можна використати лише опосередковано, що знижує достовірність результатів і ускладнює їх використання під час проектування ПА. Встановлено, що використовуються нестандартизовані та неуніфіковані показники, що ускладнює процес проектування архітектури та дотримання процесів забезпечення та управління якістю на етапах життєвого циклу ПС.

Для розв'язку задач забезпечення та управління якістю у дисертаційній роботі пропонується описувати архітектуру ПС на основі патернів проектування, а для моніторингу якості розробити модель на основі характеристик якості стандарту ISO 25010 (використовується також його старіший аналог ISO 9126).

На основі виконаного аналізу вибору характеристик якості ПА запропоновано модель якості архітектури на основі адаптації артефактів стандарту ISO 25010. Викладено загальну методику визначення вимог якості до ПА за вимогами до ПС шляхом комунікації показників якості ПА з визначеної множини на показники якості ПС за допомогою методу QFD.

Оскільки на початку процесу розробки ПС формуються вимоги до проектованої системи, то є потреба на основі цих вимог отримати вимоги до ПА, в т.ч. до якості ПА, тобто виконати комунікацію вимог ПС на вимоги до ПА. У кінці розділу виконано огляд методів комунікації вимог до ПС на вимоги до архітектури. В якості цих методів можна використовувати метод QFD та метод базових протоколів.

В результаті у першому розділі роботи обґрунтовано технологію побудови/розробки моделі якості ПА шляхом адаптації моделі якості ПС до предметної області архітектури.



**У другому розділі** на основі аналізу сучасних методів оцінювання та вибору архітектури встановлено, що незалежно від того, чи вони відносяться до методів раннього (коли архітектура ще не спроектована), чи пізнього (для готового архітектурного рішення) оцінювання, більшість із них ґрунтуються на використанні сценаріїв, через реалізацію котрих оцінюють ризик того, що архітектурне рішення не задовольнятиме вимоги користувача. У розділі вказано на проблеми, котрі зустрічаються під час використання цих методів.

При проектуванні програмних систем широко застосовується компонентна технологія, яка базується на вживанні компонентів повторного використання (КПВ), які взяті з раніше виконуваних проектів. Архітектура в цій технології проектується шляхом вибору каркасу на основі вимог до ПС і заповненням його необхідними компонентами, взятими з репозиторію. Каркас є високорівневою абстракцією проекту ПС і поєднує множину взаємодіючих між собою об'єктів у деяке інтегроване середовище. Розширенням поняття компонента є шаблон (паттерн) – абстракція, що містить у собі опис взаємодії сукупності об'єктів у загальній кооперативній діяльності, для якої визначені ролі учасників і їхня відповідальність.

Розроблено велику кількість компонентів, які класифіковані за типами задач і видами застосувань, а також технології їх використання. Оскільки в репозиторії патернів, як правило, є декілька компонентів, які реалізують одну і ту ж функціональність, то при компонентному проектуванні отримаємо множину альтернативних архітектур ПС. Для вибору найбільш прийняттого варіанта архітектури необхідно обчислити оцінки альтернатив по множині критеріїв якості, або проранжувати альтернативи, якщо оцінки не можна обчислити [3].

У розділі виділено характеристики якості архітектурних стилів (каркасів), які найкраще реалізуються кожним з них.

Але в цих технологіях не передбачено оцінювання якості вибраного варіанта архітектури і, відповідно, керування якістю на цьому етапі життєвого циклу. Вони лише дозволяють спроектувати ряд альтернативних варіантів архітектур, які задовольняють функціональним вимогам. Методи оцінювання якості спроектованих альтернативних архітектур та вибору найкращої з них розглядаються у наступному розділі.

Проектування архітектури ПС на основі стандартних рішень (патернів) знайшла своє продовження у компонентному підході до розробки ПА. Комплексно реалізуючи UML проектування разом з об'єктно-орієнтованим підходом, компонентна архітектура найкраще підходить для ПА. Проте реалізація процесів забезпечення якості та управління якістю потребує подальшого вивчення.

Таким чином у другому розділі показано, що технології проектування архітектури володіють недоліками, котрі не дозволяють ефективно впроваджувати процеси гарантування і управління якістю на ранніх етапах розробки ПС.

**У третьому розділі** на основі аналізу методів оцінювання ПА та багатокритеріального прийняття рішень по вибору ПА показано, що найбільш ефективним для розв'язування цієї задачі є метод аналізу ієрархій Т.Сааті та його модифікований варіант. Схема процедури оцінювання якості та вибору ПА

представлена трьома рівнями:  $K_i^1, i = \overline{1, m_1}$  – критерії якості ПС;  $K_i^2, i = \overline{1, m_2}$  – критерії якості архітектури;  $A_i, i = \overline{1, n}$  – альтернативні архітектурні рішення.

Множина критеріїв якості ПС  $\{K_i^1\}$  визначається на основі сформульованих замовником вимог, а множина критеріїв  $\{K_i^2\}$  визначається шляхом комунікації  $\{K_i^1\}$  на якість архітектури застосуванням технології QFD або інших методів, поданих у попередньому розділі.

Необхідно вибрати з наявних альтернатив  $\{A_i\}$  таку, яка б найкраще забезпечувала якість ПС, тобто треба розв'язати задачу оптимізації за сукупністю критеріїв  $\{K_i^1\}$  та  $\{K_i^2\}$ . Це задача багатокритеріальної ієрархічної оптимізації і для її розв'язання найчастіше використовується метод аналізу ієрархій Сааті.

Під час використання МАІ для рішення таких задач відносні оцінки критеріїв (ваги) для альтернатив  $w_i^s$  на кожному рівні знаходяться з використанням матриць парних порівнянь  $B^s(b_{ij}^s)$ , які заповнюють експерти (тут  $b_{ij}^s$  визначає перевагу  $i$ -тої альтернативи над  $j$ -ю по реалізації  $s$ -го критерію).

Коефіцієнти матриць повинні бути узгодженими, тобто  $b_{ij} = w_i / w_j \quad \forall b_{ij} \in B$ . Ваги в цьому випадку знаходяться як компоненти власного вектору матриці парних порівнянь, які відповідають максимальному характеристичному числу матриці.

Але при значній кількості альтернатив ( $n \geq 7 \pm 2$ ), в силу дії на експертів різних негативних факторів, матриця  $B\{b_{ij}\}$  є неузгодженою і її ранг відрізняється від одиниці, тобто матриця має декілька власних значень.

А.А. Павловим було запропоновано метод визначення ваг  $w_i^s$  з умови мінімізації неузгодженості матриць парних порівнянь (МПП), який отримав назву модифікований метод аналізу ієрархій (ММАІ).

У роботі проведено дослідження з порівняння методів МАІ та ММАІ для задачі оцінювання великої кількості альтернативних архітектур ( $n \gg 9$ ).

Для можливості змінювати ступінь узгодженості рішення задачі оцінювання альтернатив з використанням ММАІ використано вираз для міри неузгодженості

матриці парних порівнянь  $\left| \frac{w_i}{w_j} - b_{ij} \right| \leq t_{\text{дон}} \cdot b_{ij}, t_{\text{дон}} \geq 0$ , що приводить до задачі мінімізації, заданої такими виразами:

$$\min \sum_{(ij) \in |A|} (y_{ij}^+ + y_{ij}^-). \quad (1)$$

$$-t_{\text{дон}} b_{ij} w_j \leq w_i - b_{ij} w_j \leq t_{\text{дон}} b_{ij} w_j,$$

$$w_i - b_{ij} w_j = y_{ij}^+ - y_{ij}^-, y_{ij}^+ \geq 0, y_{ij}^- \geq 0, \quad (2)$$

$$w_i \geq a \geq 1, \quad i = \overline{1, n},$$

де  $w_i, i = \overline{1, n}$ ,  $y_{ij}, \forall (i, j) \in A$  – змінні задачі лінійного програмування;  $t_{don}$  – задане граничне число;  $y_{ij}^+, y_{ij}^-$  – штучно введені змінні для переходу до задачі лінійного програмування.

Узгодженість отриманих рішень оцінювалась такими показниками:

$$M_1 = \sum_{i=1}^n K(w_i^*); \quad (3)$$

$$M_2 = \max_{i=1, n} K(w_i^*), \quad (4)$$

$$\text{де } K(w_i^*) = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{1}{\gamma_{ij}} \left| \frac{w_i^*}{w_j^*} - \gamma_{ij} \right|.$$

При цьому, для заданих значень порогу неузгодженості  $t_{don}$  моделювались похибки експертів при визначенні елементів МПП шляхом генерування випадкових збурень МПП  $B\{b_{ij}\}$  і знаходились вагові множники  $w_i^*, i = \overline{1, n}$  стандартним і модифікованим МАІ для різної кількості альтернатив. На рис.1 показано графік зміни коефіцієнта узгодженості  $M_1$  у залежності від заданого порога неузгодженості  $t_{don}$ . Як видно з графіка, модифікований МАІ дає значно кращі результати за критерієм  $M_1$ , ніж стандартний. Так, вже для похибок в МПП у межах  $t_{don}=0,15$  модифікований МАІ дав на 20 відсотків менше значення міри неузгодженості рішення, ніж стандартний, що підтверджує можливість використання ММАІ для значно більшої кількості альтернатив, ніж МАІ.

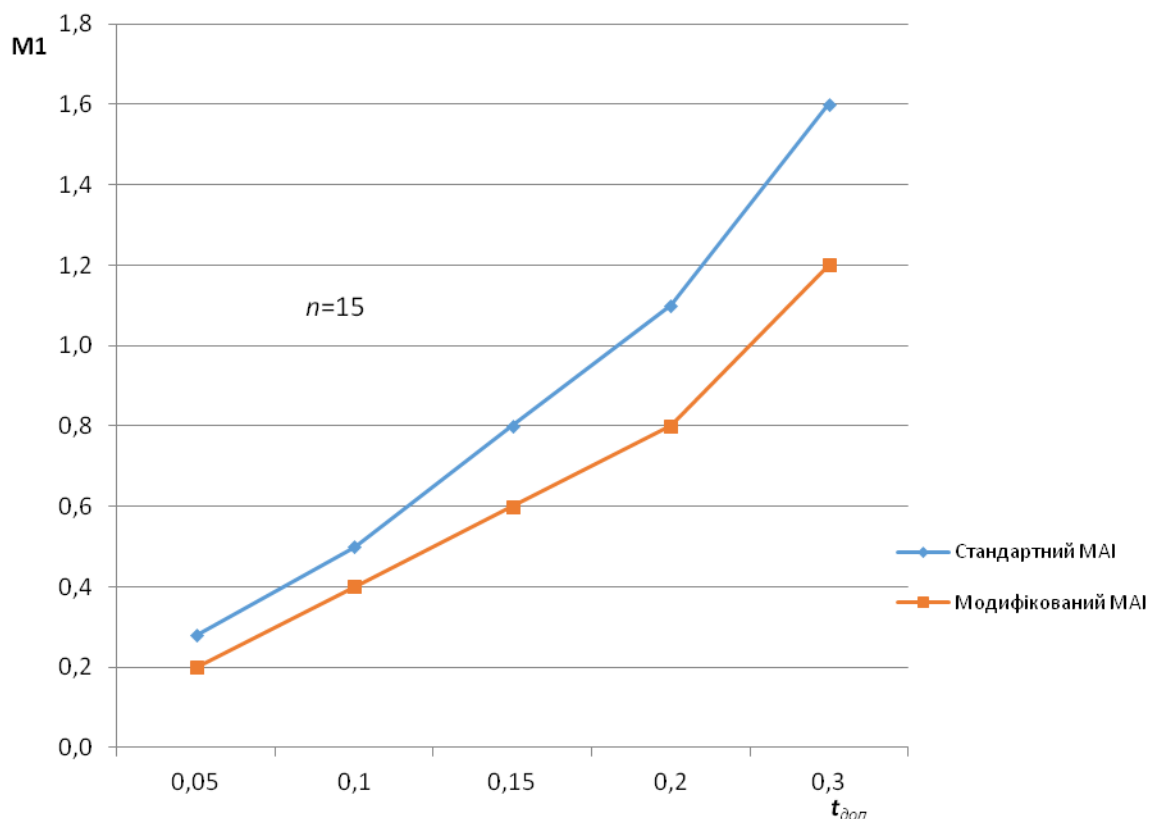


Рис. 1. Залежність критерію  $M_1$  від інтервалу похибок

Для перевірки цих висновків на практичному прикладі розв'язування задачі оцінювання архітектур ПС проведено дослідження з використанням ММАІ до оцінювання архітектурних проектів, наведених у звіті по виконанню міжнародного проекту Glas Vox (GV) для різної кількості альтернатив ( $n \leq 45$ ). Були визначені ваги архітектурних альтернатив відносно вибраних критеріїв якості, нормалізовані відповідно до критеріїв якості для чотирьох альтернатив. Використовуючи ці нормалізовані значення, можна оцінити, як кожна альтернатива відносно задовольняє (підтримує) кожен атрибут якості. Обчислено також оцінки альтернатив для сукупності критеріїв якості. З цією метою застосовано функцію лінійної згортки з визначеними пріоритетами критеріїв якості.

Використовуючи отримані оцінки, можна проранжувати альтернативи як по кожному критерію якості, так і по їх сукупності. Однак, пріоритети критеріїв якості, які призначають експерти, суттєво відрізняються залежно від їх відношення до певної групи учасників проектування ПА, що підтверджується експериментальними результатами, наведеними у дисертації. Тому, для підвищення достовірності отриманого рішення необхідно проводити додаткові дослідження. Для цього аналізувалась чутливість порядку ранжування альтернатив до зміни пріоритетів критеріїв для визначення критеріїв, найбільш критичних до змін.

Визначивши модифікованим МАІ ваги альтернатив  $\{w_i^s\}$  по реалізації критеріїв якості  $\{K_i^2\}$ , можна отримати ранжування архітектурних альтернатив  $A_i$ . Тоді мінімальну зміну абсолютної величини пріоритету атрибуту якості  $P_s$ , таку, що порядок слідування  $A_i$  та  $A_j$  поміняється на протилежний, визначається за формулою

$$D'_{s,i,j} = \frac{|J_i - J_j|}{|w_i^s - w_j^s|} \cdot \frac{100}{P_s}. \quad (5)$$

Найменше значення  $D'_{s,i,j}$  показує, що пріоритет  $P_s$  атрибуту  $K_s$  є критичним до змін пріоритетів відносно критеріїв якості. Отримані результати дають можливість визначити інтервали можливих змін пріоритетів, які не приводять до зміни ранжування альтернатив. У табл. 1 показано найменші значення  $D$ , що можуть привести до зміни ранжування альтернатив, обчислені за формулою (5).

Числа в таблиці представлено у відсотках від абсолютної величини ваги атрибуту якості. Як бачимо з таблиці, портативність має другий найменший пріоритет серед атрибутів якості і, в той же час, цей атрибут найчутливіший до змін.

Наведено методику дослідження можливих компромісів між критеріями якості під час прийняття багатокритеріальних рішень за результатами оцінювання з застосуванням ММАІ. Вона полягає у побудові діаграм, які візуалізують компроміси та їх розміри, але не відображаються при ранжуванні альтернатив по значеннях інтегральних показників. Аналіз допущених компромісів, використаних при прийнятті остаточного рішення стосовно вибору варіанта архітектури, дозволить підвищити його обґрунтованість.

Таким чином, розмір компромісу репрезентується розміщенням точки в напрямку вгору вліво чи вниз вправо відносно діагоналі першого квадранту. Чим

ближче точка розміщена до діагоналі, тим менший розмір компромісу. Попадання альтернативи у третій квадрант відображає, що обидва атрибути впливають негативно на архітектурне рішення.

Також розроблено адаптивний метод вибору архітектурного проекту програмної системи при врахуванні зміни вимог якості. Метод включає обчислення порівняльних оцінок альтернатив і оперативну корекцію оцінок, для врахування зміни вимог якості. Порівняльні оцінки альтернатив визначаються модифікованим методом аналізу ієрархій, а для корекції оцінок використовується метод попарного заміщення В.В. Подіновського, який полягає у компенсації за перевагою зміни критеріїв.

Таблиця 1

Найменша зміна пріоритетів атрибутів якості для зміни ранжування

Атрибут якості	Альтернатива $i$	Альтернатива $i$	Найменша зміна
Продуктивність	TWOL	DAS	9,4
Вартість	TWOL	DAS	5,1
Затрати на розробку	TWOL	DAS	3,1
Портативність	TWOL	DAS	2,4
Легкість установки	TWOL	DAS	13,5
Масштабованість	DAS	TNET	5,7
Модифікованість	DAS	TWOL	3,9

Для оптимізації заміщення використовуються моделі лінійного програмування, запропоновані О.А.Павловим. Задача коригування оцінок альтернатив виникає тоді, коли експерти і архітектор при виборі ПА надають перевагу певній альтернативі  $A_i$ , хоча вона за деякими критеріями має не найкращі оцінки. Ставиться задача збільшити оцінки за цими критеріями за рахунок зменшення за іншими, але так, щоб оцінки альтернативи  $A_i$  за всіма критеріями були не гірші за інші. Така ж ситуація може виникнути при зміні вимог якості, які можуть потребувати змін оцінок альтернатив.

Тобто, якщо  $A_i^p$  – це альтернатива, яка заміщує  $A_i$  шляхом корекції значення критерію  $K_r$  і компенсації  $K_s$ , то їх скореговані значення будуть

$$\bar{K}_r^{ip} = \bar{K}_r^i - \delta_r, \quad \bar{K}_s^{ip} = \bar{K}_s^i + \delta_{si}, \quad \delta_{si} = f(r, s, \bar{K}, \delta_r), \quad (6)$$

де  $\bar{K}$  – вектор значень критеріїв.

Запишемо співвідношення для компенсації при заміщенні для множини компонент вектору  $\bar{K}^i$  альтернативи  $A_i$ , яку хочемо зробити кращою за  $A_j$ :

$$\delta \bar{K}_r^{ir_z} = C_r^{ir_z} \cdot \delta K_r^i, \quad r_z \in R_i^2(r), \quad r \in R_i^1, \quad (7)$$

де  $\delta \bar{K}_r^{ir_z}$  – можливе зменшення компоненти  $\bar{K}_r^i$  з метою збільшення  $\bar{K}_{r_z}^i$ ;

$R_i^1$  – множина індексів  $r$ , для яких  $\bar{K}_r^i > \bar{K}_r^j$ ,  $j = \overline{1, n}; i \neq j$ ;

$R_i^2(r)$  – задана для  $R_i^1$  множина індексів, така, що компоненти  $\bar{K}_r^i, r \in R_i^1$  можуть брати участь у заміщенні компонентів  $\bar{K}_s^i, s \in R_i^2(r)$ ;

$C_r^{ir_z}$  – задані коефіцієнти пропорційності.

Компоненти вектору  $\bar{K}^i$  після заміщення визначаються наступними співвідношеннями:

$$\begin{aligned}\bar{K}_r^{ip} &= \bar{K}_r^i - \sum_{r_z \in R_i^2(r)} C_r^{ir_z} \cdot \delta \bar{K}_{r_z}^i, \quad r \in R_i^1; \\ \bar{K}_r^{ip} &= \bar{K}_{r_z}^i + \sum_{r \in R_i^1} \sum_{r_z \in R_i^2(r)} \delta \bar{K}_{r_z}^i, \quad r_z \in s, s \in R_i^1, r_z \in R_i^2(r).\end{aligned}\tag{8}$$

Для Парето-оптимальної стратегії модель оптимізації буде такою:

$$\max \left\{ \sum_{r \in R_r^1} d_r + \sum_{s \in R_s^1} d_s \right\} = \max \{y\}\tag{9}$$

з обмеженнями:

$$\begin{aligned}d_r, d_s &\geq 0, r \in L_j^1, s \in R_j^1; \\ \bar{K}_r^j - \sum_{r_z \in R_j^2(r)} \delta \bar{K}_{r_z}^{jr_z} &\geq \max_i \left( \delta \bar{K}_r^i \right) + d_r, i \in \overline{1, n}, i \neq j, r \in R_j^1; \\ \bar{K}_s^j + \sum_{r \in R_j^1} \sum_{r_z \in R_j^2(r)} \frac{1}{d_r^{jr_z}} \delta \bar{K}_{r_z}^{jr_z} &\geq \max_i \left( \bar{K}_s^i \right) + d_s, \quad i = \overline{1, n}, i \neq j, r \in R_j^1, r_z = s, \\ &\exists r, s \in R_j^2(r); \\ \sum_{r_z \in L_j^2(r)} \delta \bar{K}_r^{ir_z} &\leq b_{K_j^1}, \quad j \neq i, r \in R_j^1, r_z = s.\end{aligned}\tag{10}$$

Змінними тут є  $\delta \bar{K}_r^{jr_z}, d_r, d_s$ .

Після деяких перетворень для розв'язування задачі застосовується стандартний симплекс-метод. У дисертаційній роботі наведено приклад застосування цього методу корегування оцінок.

У четвертому розділі представлено структуру, об'єктні моделі, принципи розробки та технологію роботи експертної системи проектування архітектури ПС "Архітектор". Описано програмну реалізацію системи, характеристики підсистем, основні функціональності і сценарії діяльності головних акторів, якими є "Архітектор", "Експерт" і "Адміністратор" репозиторію архітектурних патернів.

Система надає можливість компоувати альтернативні архітектури ПС з стандартних патернів, визначати оцінки альтернатив відносно критеріїв якості модифікованим методом аналізу ієрархій та обирати найкращу альтернативу для множини критеріїв якості з проведенням аналізу допущених компромісів.

Структурну схему експертної системи "Архітектор" зображено на рис. 2.

Для подання архітектури програмних систем прийнято концепцію, у якій функціональність програми розділено на шари, при цьому використано технологію Microsoft, яка базується на такій концепції. Згідно з цією технологією для кожного шару розроблено набори компонентів (патернів), які реалізують функціональність

цього шару. Патерни згруповано у категорії (модулі), що призначені для розв’язуванні певних стандартизованих задач.

Кожний програмний додаток, який проектується, поділяється на логічні частини, які відповідають шарам. Визначивши категорії задач, які будуть розв’язуватись певним шаром, обирається деякий компонент з існуючого набору і, таким чином, будується каркас архітектури. Але для кожного модуля існує, як правило, декілька патернів, тому отримуємо множину альтернативних архітектур.

База даних архітектур (*репозиторій патернів*) використовується для формування альтернативних архітектур із стандартних патернів. Тут зберігаються правила побудови архітектури у відповідності до типу програмного додатка.

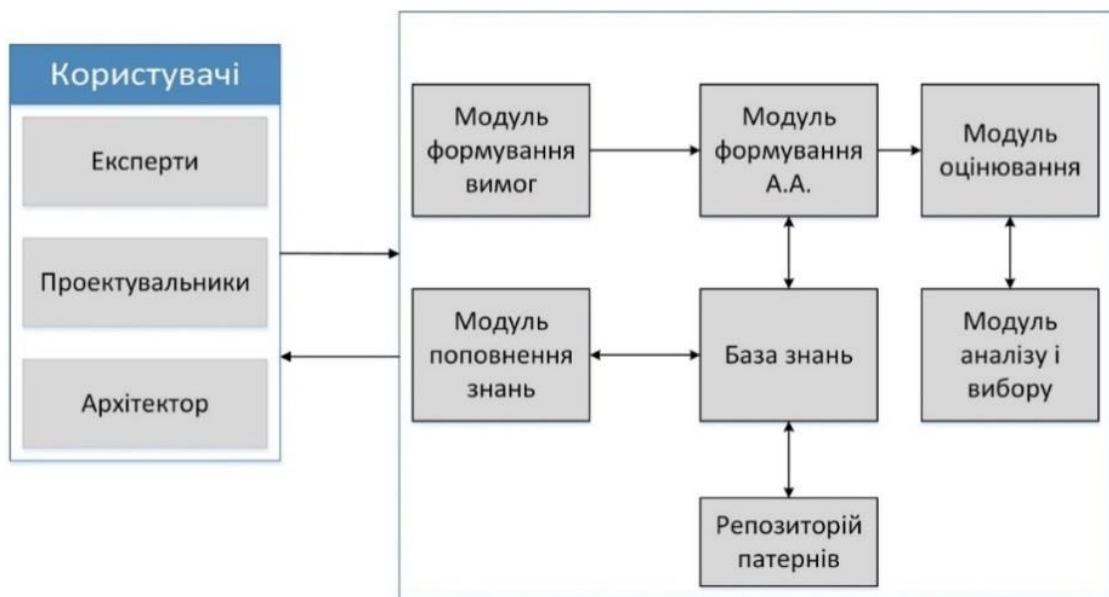


Рис. 2. Структура експертної системи (А.А. – альтернативні архітектури)

*Адміністратор репозиторію патернів* поділяє додатки на шари і визначає задачі, які розв’язуються на певних шарах. *Архітектор* заповнює фрейм-шаблон, в якому незаповненим залишається останній слот. На основі пошуку в репозиторію патернів (шаблонів) знаходиться відповідний компонент, який поміщується в каркас архітектури, створюючи таким чином архітектуру додатку.

Основним фактором, що істотно вплинув на етапи проектування та реалізації “Архітектора програмних систем”, став чинник застосування системи для підтримки прийняття експертних рішень по вибору архітектури програмних додатків різних типів при достатньо великій кількості альтернатив для кожного типу.

Тому при проектуванні системи враховано такі функціональні вимоги:

- зручність застосування системи для підтримки прийняття рішень на множині альтернативних архітектур експертами;
- забезпечення ефективної роботи Адміністратора репозиторію патернів архітектур та Архітектора програмних додатків;
- система має легко реорганізовуватись при розширенні кількості типів архітектур програмних додатків з відповідними шарами та патернами;

- доступ на модифікацію даних, які розміщені в репозиторії патернів архітектур програмних додатків, повинні мати особи, які мають відповідні повноваження.

Для проектування і подальшої побудови об'єктно-орієнтованої системи застосовано графічне моделювання з використанням діаграм UML. Під час розробки статичної моделі об'єктів системи використано діаграми класів, а для розробки функціональних вимог – use case діаграми (діаграми сценаріїв). Для діаграми варіантів використання роботи *Експерта* в роботі системи активним є актор *Експерт* – людина, яка запускає процес оцінювання, оцінює альтернативні архітектури програмних додатків попарно та виставляє оцінки.

*Варіанти використання:*

- оцінка альтернативних архітектур – базовий use case, що описує головну задачу підсистеми і визиває інші сценарії;
- вибір завдання для оцінки – виконання вибору завдання для подальшого оцінювання;
- під'єднання до бази даних – вибір бази даних (*репозиторію патернів архітектур*) для подальшої роботи з нею;
- порівняння архітектур – порівняння альтернативних архітектур між собою попарно та проведення оцінювання;
- порівняння пари архітектур у текстовому (табличному) вигляді;
- порівняння пари архітектур у графічному вигляді (у виді діаграм);
- виставлення оцінок у результаті попарного порівняння.

У підсистемі оцінювання архітектур реалізовано такі класи:

- *Rating\_arch* – клас, що являє собою головне виконавче тіло підсистеми, в якому проводиться оцінювання альтернативних архітектур;
- *Arch\_work* – допоміжний (підрядний) клас, що містить в собі функції роботи з архітектурами.

Експертна системи "Архітектор" була створена як Застосунок з графічним інтерфейсом користувача. Елементи інтерфейсу дозволяють реалізувати описану методику проектування ПА з врахуванням вимог якості.

У ролі інструментальної платформи для розробки "Архітектора програмних систем" обрано IntelliJ IDEA (Ultimate Edition) – комерційне інтегроване середовище розробки для мови Java від компанії JetBrains. Такий вибір здійснено завдяки зручному інтерфейсу, можливості безпосередньо працювати із СУБД різних типів, а також можливості розробки програмної системи одночасно на декількох локальних апаратних платформах.

Програмний комплекс експертної системи "Архітектор програмних систем" відлагоджено, а також проведено його тестову експлуатацію на підприємстві з розроблення програмного забезпечення "Об'єднання Юг".

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання – розроблено методи управління якістю програмних систем на етапі проектування архітектури, а також створено програмний засіб проектування архітектури програмних систем з



врахуванням вимог якості. При цьому отримано такі нові наукові та практичні результати.

1. На основі аналізу використовуваних технологій проектування ПА з врахуванням вимог якості, зроблено висновок про необхідність розробки ефективного методу багатокритеріального оцінювання та вибору програмної архітектури з множини альтернатив при значній кількості альтернатив ( $n \geq 9$ ). В якості теоретичної основи запропонованого методу використано модифікований метод аналізу ієрархій, розроблений О.А. Павловим, при цьому:
  - а) вперше розроблено метод визначення показників якості архітектури на основі стандартизованих характеристик якості;
  - б) вперше розроблено метод оцінювання альтернативних архітектур на основі модифікованого методу аналізу ієрархій;
  - в) проведено дослідження стійкості модифікованого методу аналізу ієрархій до похибок експертів, які підтвердили можливість його застосування при оцінюванні великої кількості альтернативних архітектур ( $n \leq 45$ ).
2. На прикладі застосування розробленого методу оцінювання на основі ММАІ до задачі реального архітектурного проектування показано його ефективність, зокрема:
  - а) розроблено методику дослідження можливих компромісів між критеріями якості при прийнятті багатокритеріальних рішень за результатами оцінювання із застосуванням ММАІ;
  - б) розроблено метод дослідження чутливості ранжування альтернатив за значеннями інтегрального показника якості до зміни пріоритетів критеріїв якості, викликану зміною вимог якості до ПС;
  - в) вперше розроблено метод оперативної корекції альтернатив при зміні вимог якості, в якому корекція оцінок виконується методом попарного заміщення В.В. Подіновського, а для оптимізації заміщення використовуються моделі лінійного програмування, запропоновані О.А. Павловим.
3. Розроблено структуру та програмний комплекс системи підтримки прийняття рішень архітектора ПС при виборі варіанта архітектурної альтернативи на основі розроблених методів багатокритеріального оцінювання і вибору ПА.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Kharchenko A. The method for comparative evaluation of software architecture with accounting of trade-offs / Alexander Kharchenko, Ihor Bodnarchuk, Vasyl Yatsyshyn // American Journal of Information Systems. – V. 2, No. 1. – 2014. – P. 20-25. Available online at <http://pubs.sciepub.com/ajis/2/1/5>
2. Боднарчук І. О. Побудова та аналіз моделі якості архітектури програмного забезпечення / І. О. Боднарчук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 3. – С. 89-98.

3. Харченко О. Г. Стійкість розв'язків задачі оптимізації архітектурних програмних систем / О. Г. Харченко, І. О. Галай, І. О. Боднарчук // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – № 771. – 2013. – С. 17-24.
4. Харченко О. Г. Експерта система проектування архітектури програмного забезпечення / О. Г. Харченко, І. О. Боднарчук, В. В. Яцишин // Комп'ютерні технології друкарства. – № 29. – 2013. – С. 10-26.
5. Харченко О. Г. Метод багатокритеріальної оптимізації програмної архітектури на основі аналізу компромісів / Харченко О. Г., Боднарчук І. О., Галай І. О. // Інженерія програмного забезпечення. – 2012. – № 3–4 (11–12). – С. 5-12.
6. Харченко О. Г. Проектування архітектури web-застосунків на основі моделі якості / О. Г. Харченко, І. О. Галай, І. О. Боднарчук, В. В. Яцишин // Інженерія програмного забезпечення. – 2010. – № 4. – С. 26-34.
7. Харченко О. Г. Методи забезпечення та контролю якості web-застосунків на стадіях життєвого циклу / Харченко О. Г., Яцишин В. В., Боднарчук І. О. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – № 1. – С. 21-27.
8. Яцишин В. В. Метод забезпечення якості програмних систем на ранніх стадіях життєвого циклу / В. В. Яцишин, О. Г. Харченко, О. А. Пастух, І. О. Боднарчук // Науковий вісник НЛТУ України. – Вип. 23.17, 2013. – С. 359-365.
9. Harchenko A. Decision support system of software architect / A. Harchenko, I. Bodnarchuk, I. Halay / Proceedings of IEEE 7<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS'2013). – V. 1. – Berlin, 2013. – P. 265-269.
10. Harchenko A. The tool for design of software systems architecture / A. Harchenko, I. Bodnarchuk, I. Halay, V. Yatsyshyn / Proceeding of the XII<sup>th</sup> International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM' 2013). – Polyana – Svalyava, 2013. – P. 47-48.
11. Harchenko A. The investigation and standardization of quality indices of architecture of software systems / A. Harchenko, V. Yatsyshyn, I. Bodnarchuk / Proceedings of the VI<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT'2011). – Lviv, 2011. – P. 96-98.
12. Harchenko A. The modeling and optimization of software engineering processes / A. Harchenko, I. Bodnarchuk, V. Yatsyshyn / Proceeding of the XI<sup>th</sup> International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunication and Computer Science (TCSET'12) dedicated to the 60<sup>th</sup> anniversary of the Radio Department at the Lviv Polytechnic National University. – Lviv-Slavske, 2012. – P. 326.

13. Harchenko A. Stability of the solutions of the optimization problem of software systems architecture / A. Harchenko, I. Bodnarchuk, I. Halay / Proceeding of the VII<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT'2012). – Lviv, 2012. – P. 47-48.
14. Kharchenko A. The quality model for software architecture based on standardized characteristics / A. Kharchenko, I. Bodnarchuk, I. Halay / Proceeding of the VIII<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT'2013). – Lviv, 2013. – P. 103-105.
15. Kharchenko A. Adaptive method of alternatives correction when designing the software architecture / A. Kharchenko, I. Bodnarchuk, I. Halay / Proceeding of the VIII<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2013). Lviv. 2013. Pp. 106-108.
16. Kharchenko A. The method of software architecture design accounting the quality requirements change / A. Kharchenko, I. Bodnarchuk, I. Raichev, Y. Morar / Proceeding of the IX<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT'2014). – Lviv, 2014. – P. 60-63.
17. Harchenko A. Software architecture design on the base of method of hierarchic optimization / A. Harchenko, I. Bodnarchuk, I. Halay, V. Yatsyshyn / Proceeding of the VIII<sup>th</sup> International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH'2012). – Polyana, 2012. – P. 39-40.
18. Harchenko A. Decision support system for software architect / A. Harchenko, I. Bodnarchuk, I. Halay, V. Yatsyshyn / Proceeding of the XIX<sup>th</sup> International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH'2013). – Polyana, 2013. – P. 138-139.
19. Harchenko A. The method of assessment correction for software architectures when quality requirements are changed / A. Harchenko, I. Bodnarchuk, I. Halay / Proceeding of the X<sup>th</sup> International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH'2014). – Lviv, 2014. – P. 115-118.
20. Харченко О. Г. Моделі оптимізації архітектури програмних систем / Харченко О. Г., Боднарчук І. О / Сьома міжнародна науково-практична конференція "Математичне та імітаційне моделювання систем" (МОДС'2012): Тези доповідей. – Чернігів-Жукин, 2012. – С. 368-372.
21. Боднарчук І. Проблеми багатоальтернативного вибору архітектури програмних систем з використанням методу аналізу ієрархій / І. Боднарчук, С. Прошин / Матеріали II науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології". – Тернопіль, 2012. – С. 52.
22. Харченко О. Г. Метод для отримання множини показників якості архітектури програмного забезпечення / О. Г. Харченко, І. О. Боднарчук, І. О. Галай / Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції "Комп'ютерні технології: наука і освіта". – Київ, 2013. – С. 45-49.

## АНОТАЦІЇ

**Боднарчук І. О. Методи і засоби проектування архітектури програмного забезпечення з врахуванням вимог якості.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.03 – Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем. – Національний університет "Львівська політехніка" Міністерства освіти і науки України, Львів, 2015.

У дисертаційній роботі розв'язано важливу наукову задачу, суть якої полягає у розробці методів та засобів забезпечення та контролю якості програмних системи (ПС) на етапі проектування її архітектури. Запропоновані методи призначені для застосування в області інженерії програмного забезпечення і дають змогу проектувати вимоги до архітектури ПС у вигляді моделей якості стандарту ISO 25010. На основі вимог якості до ПС розроблено та обґрунтовано технологію оцінювання якості архітектури ПС. Підтримку методів проектування програмної архітектури з врахуванням вимог якості здійснено розробленою у роботі програмною системою.

Проведено аналіз наукових публікацій, стандартів та практичних рішень в області інженерії програмного забезпечення, результатом чого обґрунтовано актуальність теми та методів забезпечення і контролю якості програмної архітектури на основі використання моделі якості стандарту ISO 25010. Розроблено модель якості архітектури на основі стандартизованих характеристик якості програмної системи шляхом виконання комунікації вимог до програмної системи на вимоги до програмної архітектури (ПА) з використанням методу QFD. Розроблено метод порівняльного оцінювання архітектурних рішень для проектованої системи як розв'язок задачі багатокритеріальної ієрархічної оптимізації з використанням модифікованого методу аналізу ієрархій. Виконано порівняння стандартного та модифікованого методу аналізу ієрархій при порівняльному оцінюванні архітектур, оцінено стійкість рішення задачі вибору архітектури. Розроблено метод оптимізації архітектури при зміні вимог до проектованої системи на основі використання методів заміщення. Розроблені методи реалізовано у вигляді структурних елементів системи підтримки прийняття рішень архітектора ПС. Розроблено програмне забезпечення для проектування архітектури ПС з врахуванням вимог якості, в якому реалізовано розроблені технології та методи.

*Ключові слова:* програмне забезпечення, програмна архітектура, якість архітектури, модель якості, експертна система, контроль якості, гарантування якості.

**Бондарчук И. О. Методы и средства проектирования архитектуры программного обеспечения с учетом требований качества.** - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.03 - Математическое и программное обеспечение вычислительных машин и систем. - Национальный университет "Львовская политехника" Министерства образования и науки Украины, Львов, 2015.

В диссертационной работе решена важная научная задача, суть которой заключается в разработке методов и средств обеспечения и контроля качества программных систем (ПС) на этапе проектирования ее архитектуры. Предложенные методы предназначены для применения в области инженерии программного обеспечения и позволяют проектировать требования к архитектуре ПС в виде моделей качества стандарта ISO 25010. На основе требований качества к ПС разработана и обоснована технология оценки качества архитектуры ПС. Поддержку методов проектирования программной архитектуры с учетом требований качества осуществлено разработанной в работе программной системой.

Проведен анализ научных публикаций, стандартов и практических решений в области инженерии программного обеспечения, в результате чего обоснована актуальность темы и методов обеспечения и контроля качества программной архитектуры на основе использования модели качества стандарта ISO 25010. Разработана модель качества архитектуры на основе стандартизированных характеристик качества программной системы путем выполнения коммуникации требований к программной системе на требования к программной архитектуре (ПА) с использованием метода QFD. Разработан метод сравнительной оценки архитектурных решений для проектируемой системы как решение задачи многокритериальной иерархической оптимизации с использованием модифицированного метода анализа иерархий. Выполнено сравнение стандартного и модифицированного метода анализа иерархий при сравнительном тестировании архитектур, оценена устойчивость решения задачи выбора архитектуры. Разработан метод оптимизации архитектуры при изменении требований к проектируемой системе на основе использования методов замещения. Разработанные методы реализованы в виде структурных элементов системы поддержки принятия решений архитектора ПС. Разработано программное обеспечение для проектирования архитектуры ПС с учетом требований качества, в котором реализовано разработанные технологии и методы.

*Ключевые слова:* программное обеспечение, программная архитектура, качество архитектуры, модель качества, экспертная система, контроль качества, гарантирование качества.

**Bodnarchuk I. O. Methods and tool for software architecture design with accounting of quality requirements. – Manuscript.**

Thesis for Candidate Degree of Technical Science on speciality 01.05.03 – Mathematical support and software of computing machines and systems. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2015.

The architecture design of any software system is an important problem in general. In the thesis this problem is stated as follows: creation of tools and methods for quality assurance and quality control on the early stage of software lifecycle – architecture design. The importance of this problem is grounded as well. Offered methods are available in the software engineering and give possibility to design the requirements to software

architecture as models of standard ISO 25010. It is proposed to use only standard quality characteristics because of the software architect can use all complex with characteristics, subcharacteristics, attributes, measures and other artefacts of the standard. Otherwise the architect uses nonstandard quality model that leads to misunderstanding, ambiguous mentions of terms. On the base of quality requirements to the software system the technology of software architecture quality assessments is designed and grounded. The support of these methods for architecture design is realized in the special software. This application is created and described in the thesis.

The analysis of science publication on the field of software architecting is made. The standards and practical experience in the architecting is examined too. The importance and actuality of the thesis is grounded as a result. It is shown that processed of quality assurance and quality control in the stage of software architecture design should be held with quality model of the standard ISO 25010. On the base of its characteristics the model of software architecture quality is proposed in the thesis. QFD method is offered for communication of requirements to the quality of the system on the requirements to the quality of its architecture.

There is stated that comparative assessment of software architectures for the designed system is the problem of multicriteria hierarchic optimization. There are analyzed some traditional approaches for multicriteria assessment and shown that Analytical Hierarchic Process (AHP) is the best approach for this purpose. But there are some restrictions for this method. The quantity of criteria and alternatives can not be greater than 9. Thus the modification of AHP is offered. The modification has as main idea the minimization of the measure of inconsistency for the matrix of pairwise comparisons. Then this problem was reduced to the problem of linear programming.

The standard AHP and modified AHP have been compared and results of comparison are represented in the thesis. The problem of the stability of the solution have examined too. For case when requirements to the system have been changed the method for architecture optimization is proposed on the base of method of comparative substitution.

All mentioned methods have been realized in the created application for software architect. Each function is represented in this application as separate component and as result the application is a Decision making system for software architecting.

*Key words:* software, software architecture, quality of architecture, quality model, expert system, quality control, quality assurance.

Підписано до друку 25.05.2015  
60x90 Папір ксероксний  
Обл. вид. арк. 0,9  
Наклад 120 прим. Зам. № 2515

Видавництво Тернопільського національного  
технічного університету імені Івана Пулюя

Вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001  
E-mail: [vydavnytstvo@tu.edu.te.ua](mailto:vydavnytstvo@tu.edu.te.ua)