

Міністерство освіти і науки України
Національний авіаційний університет

ГРІНЕНКО СЕРГІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 004.032

МЕТОДИ ТА ЗАСІБ ОЦІНЮВАННЯ ЗРІЛОСТІ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ

01.05.03 – Математичне та програмне забезпечення
обчислювальних машин і систем

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України на кафедрі інженерії програмного забезпечення.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
КОЗЛОВСЬКИЙ Валерій Валерійович,
завідувач кафедри засобів захисту інформації
Національного авіаційного університету
Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ЯКОВИНА Віталій Степанович,
професор кафедри систем штучного інтелекту
Національного університету "Львівська політехніка"
Міністерства освіти і науки України

кандидат технічних наук, доцент
ЯЦИШИН Василь Володимирович,
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж
Тернопільського національного технічного університету
імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Захист відбудеться «30» квітня 2021 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19 Національного авіаційного університету за адресою: м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1, ауд. 6.205

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного авіаційного університету: м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1.

Автореферат розісланий «29» березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

Р.С. Одарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зрілість (maturity) - це важлива характеристика будь-якого продукту, який використовує людина. Не виключенням є і зрілість програмних продуктів (ПП) (software product maturity). З однієї точки зору зрілість ПП може визначати затрачені ресурси для досягнення цілей, тобто впливає на продуктивність праці людини – і це вкрай важливо для користувача ПП, а з іншого боку, зрілість є одним із визначних факторів при виборі ПП, тобто пов'язана з його конкурентоспроможністю – і це важливо для розробника ПП. Тому забезпечення зрілості ПП є актуальним для всіх зацікавлених сторін. Важливість зрілості підкреслюється ще й тим, що вона є характеристикою моделі якості ПЗ, і тому представлена в стандартах ISO/IEC ISO/IEC 25010:11, ISO/IEC 25022, ISO/IEC 25023, ISO 12119, ISO/IEC 9126 та ISO 14598.

Дослідженням зрілості приділяють значну увагу зарубіжні вчені: В. Boehm, А. Cooper, Yo. Kuwata, R. Al Qutaish, J. McCall, J. Nielsen, J. Scholtz, а також українські вчені П. Андон, Б. Конорєв, К. Лавріщева, І. Туркін, О. Харченко.

З огляду на важливість зрілості ПП, її необхідно досягати та підтримувати, тому в процесі розробки та супроводження ПП виконуються дії, які забезпечують створення зрілого для використання ПП. Оскільки зрілість є характеристикою якості ПП, то управління зрілістю відбувається в рамках управління якістю ПП. При цьому досягнення зрілості ускладнюється протиріччями або повнотою уявлень розробників та користувачів про властивості зрілого ПП; необхідністю досягнення зрілості ПП у процесі його розробки; відсутністю методів для управління зрілістю ПП у технологіях створення ПП.

Враховуючи істотний внесок науковців з предметної області (PrO) в розробку теоретичних положень та практичних рекомендацій, можна зробити висновок, що результати їх досліджень полягають в дослідженні окремих складових зрілості ПП або зрілості процесів розробки ПП. При цьому дослідження зрілості ПП в цілому та оцінки її рівня відсутні.

Відсутність у керівництвах зі створення ПП моделей, методів, методик для забезпечення зрілості ПП в цілому призводить до труднощів у ефективній інтеграції процесів для досягнення, управління зрілістю та створення ПП. Крім цього, це не дозволяє відслідковувати проблеми зрілості ПП на початку їх створення, що призводить до збільшення витрат на пошук шляхів їх вирішення в майбутньому.

Існуючі методи досягнення зрілості ПЗ стосуються окремих процесів управління зрілістю – планування та контролю. Тому особливої актуальності набуває задача розробки методів та засобу управління зрілістю ПЗ, які б дозволили забезпечувати зрілість ПП у процесі їх створення та супроводження, беручи до уваги вищенаведені фактори. Саме в цьому полягає актуальність дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано в Національному авіаційному університеті на кафедрі інженерії програмного забезпечення в рамках таких науково-дослідних робіт, у яких Гріненко С.А. брав участь: №586–ДБ009 «Екологія програмного забезпечення» (держ. реєстр. № 0109U001769), «Методи та засоби інженерії програмного забезпечення» (№24 Ф4/К44), № 29/09.01.02 «Онтології в інженерії програмного забезпечення» (акт впровадження від 23.12.2020), 58/09.01.02 «Методологія підвищення ефективності процесів життєвого циклу розробки програмного забезпечення у гнучких підходах його розробки» (2019-2022р.).

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є вирішення важливого науково-технічного завдання оцінювання зрілості ПП у процесі створення та супроводження ПП за допомогою розробки методів оцінювання зрілості ПП. Методи були реалізовані у вигляді програмного засобу.

Для досягнення згаданої мети в роботі поставлено та розв'язано такі задачі:

- вивчення ПрО та аналіз наявних моделей, методів та підходів до забезпечення зрілості ПП;
- розробка моделі для досягнення зрілості ПП;
- розробка методів оцінювання зрілості ПП, що забезпечує задану розробником зрілість відповідно до розробленої моделі;
- розробка методики дослідження узгодженості даних від користувачів та/або експертів ПрО щодо зрілості ПЗ;
- розробка методики визначення наявності і форми залежності між показниками зрілості ПП;
- розробка архітектури та програмного засобу для оцінювання зрілості, яка реалізує запропоновані методи;
- апробація запропонованих методів та програмного засобу за допомогою емпіричного дослідження.

Об'єкт дослідження – оцінювання зрілості програмних продуктів.

Предмет дослідження – моделі, методи і засоби оцінювання зрілості програмних продуктів.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі використано такі методи: аналіз, аналогія, синтез та узагальнення – при дослідженні ПрО та підходів до формалізованого представлення понять; моделювання; статистичні методи аналізу даних; об'єктно-орієнтований аналіз і програмування – при проектуванні та конструюванні програмного засобу оцінювання зрілості ПП; методи емпіричної інженерії програмного забезпечення – анкетування та експертне оцінювання на базі SEER – при розв'язанні задачі застосування запропонованих в роботі методів і засобу.

Наукова новизна роботи полягає в розробці нових, уточненні і доповненні наявних науково-методичних положень та практичних рекомендацій з оцінювання зрілості ПП:

вперше:

- на основі процесного підходу створено модель зрілості ПП, яка, охоплюючи задачі планування, контролю, забезпечення й управління зрілості ПП, спрямована на їх розв'язання за допомогою застосування формального апарату теорії прийняття рішень. Застосування методів дозволяє ґрунтовно управляти зрілістю ПП з урахуванням ресурсів розробки;

удосконалено:

- математичну модель оцінювання рівнів зрілості на основі ключових практик, цілей та областей процесів, тобто використовуються ієрархічні системи нечіткого логічного висновку. Застосування моделі дозволяє в разі невідповідності рівня зрілості встановленим вимогам здійснити коригуючі дії з досягнення відповідного рівня в результаті рішення оптимізаційної задачі;

отримало подальший розвиток:

- розв'язання задачі контролю зрілості шляхом створення математичної моделі оцінки зрілості ПП на кожному із рівнів моделі. Застосування моделі дозволяє контролювати відповідність зрілості ПП встановленим вимогам та створити на її основі математичну модель забезпечення зрілості ПП.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає в тому, що впровадження в процес розробки ПП запропонованих у дисертації математичних моделей, методів та програмного засобу сприяє підвищенню ефективності управління проектами за відповідними критеріями зрілості, а також конкурентоспроможності ПП.

На базі створених методів та моделі спроектовано та реалізовано програмний засіб для оцінювання зрілості ПП.

Результати дисертації у вигляді моделі та методів та розробленого засобу оцінювання зрілості ПП впроваджені в таких організаціях: Національному авіаційному університеті – в НДР №586–ДБ009 «Екологія програмного забезпечення» (держ. реєстр. № 0109U001769), «Методи та засоби інженерії програмного забезпечення» (№24 Ф4/К44), № 29/09.01.02 «Онтології в інженерії програмного забезпечення», 58/09.01.02 «Методологія підвищення ефективності процесів життєвого циклу розробки програмного забезпечення у гнучких підходах його розробки» (2019-2022р.) (акт впровадження від 23.12.2020) та в навчальному процесі при проведенні лабораторних робіт згідно з програмами навчальних дисциплін «Екологія програмного забезпечення», «Дослідження технологій розробки та супроводу програмного забезпечення систем», «Моделювання процесів зрілості в інженерії програмного забезпечення» за напрямом професійної підготовки 121 «Інженерія програмного забезпечення» (акт впровадження від 26.11.2020); ТОВ «Лайм Системс» шляхом застосування рекомендацій щодо застосування методів оцінювання зрілості для компанії та окремих проектів при розробці ПП (акт впровадження від 06.11.2020).

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які виносяться на захист, отримані здобувачем особисто й опубліковані в одноосібних

підготовлених працях [2, 5, 11-16]. У роботах [1, 3, 4, 6-10], написаних у співавторстві, автору належить: модельно-орієнтований підхід (MDA) для моделювання екосистем програмного забезпечення, методика оцінювання ІТ підприємств на основі інноваційної зрілості персоналу, встановлення переваг та недоліків існуючих моделей оцінювання зрілості програмного забезпечення, пропозиція методів для оцінювання зрілості ПП, розроблена онтологія Про сталого розвитку ІТ підприємств, пропозиція моделей для оцінювання ІТ підприємств на основі інноваційної зрілості персоналу, запропоновані характеристики для дослідження екосистем програмного забезпечення, розроблена 3-рівнева модель для оцінювання екосистем програмного забезпечення.

Апробація роботи. Результати роботи доповідалось і обговорювались на ХІХ Всеукраїнській науковій конференції молодих учених «Актуальні проблеми природничих і гуманітарних наук у дослідженнях молодих учених» (Черкаський національний університет ім. Б.Хмельницького, м. Черкаси, 2017 р.), Міжнародній науково-технічній конференції аспірантів та студентів «Інженерія програмного забезпечення – 2017» (Національний авіаційний університет, м. Київ, 2017 р.), ХІV Міжнародній науково-технічній конференції «АВІА – 2019» (Національний авіаційний університет, м. Київ, 2019 р.), ХV Міжнародній науковій конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту – 2019» (Херсонський національний технічний університет, м. Херсон – Залізний Порт, 2019 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в освіті та науці – 2019» (Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Б.Хмельницького, м. Мелітополь, 2019 р.), ІІІ Міжнародна науково-практична конференція «Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві – 2019» (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, 2019 р.), 1st International Workshop on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks (Національний авіаційний університет, м. Київ, 2019 р.), а також на наукових семінарах Національного авіаційного університету.

Публікації. Основні результати дослідження опубліковано в шістнадцяти наукових роботах [1-16], десять з яких [1-10] – у наукових фахових виданнях і шість [11-16] – у збірниках тез доповідей наукових конференцій. З них одна [10] – у виданні, що індексується наукометричною БД Scopus, одна [7] – у виданні, що індексується наукометричною БД Index Copernicus та дві [8, 9] – у виданнях зарубіжних країн, що входять до ЄС, а також вісім [2, 5, 11-16] є одноосібними.

Структура і обсяг. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг роботи становить 152 сторінки, 195 джерел, містить 40 рисунків, 14 таблиць, 3 додатка.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі дослідження, їх наукову новизну та практичне значення.

У першому розділі за допомогою Systematic Mapping Studies було досліджено предметну область зрілості ПП, де одним з найбільш проблемних місць є конкретизація предметної області. У стандарті ISO/IEC 25010:2011 зрілість розглядається як підхарактеристика надійності ПЗ: «ступінь відповідності системи, продукту чи компонента потребам у надійності при нормальній роботі». При цьому в примітках до даної характеристики говориться: «Поняття зрілості може також застосовуватися до інших характеристик якості, щоб вказати ступінь, наскільки вони відповідають необхідним потребам при нормальній експлуатації». У роботі «зрілість ПП» (software product maturity) розглядається як ступінь, у якому ПП може бути використаний користувачами з метою досягнення визначених власних цілей з ефективністю\економічністю та\або задоволеністю у відповідному контексті застосування. Під терміном «користувач» (user) розуміється окрема особа або організація, яка використовує програмну систему для виконання визначених функцій. На сьогодні існує велика кількість досліджень в області якості ПП, зрілості процесів розробки ПЗ, проте, дослідження, пов'язані із аналізом зрілості саме ПП, майже відсутні. Саме тому, перш за все, постає питання у представленні знань про ПрО. В результаті цього, перспективним є розробка моделі, яка б відображала об'єкти домену та зв'язки між ними. Таким засобом є онтології, які є формалізованим представленням знань про домен. У роботі розглядається задача побудови онтології для предметної області зрілості ПП, що включає наступні етапи:

- обґрунтування використання онтологій для доменного моделювання;
- коротку характеристику основних кроків побудови онтології згідно зі стандартом IDEF5.

У розділі наведено збір та аналіз джерел для формування вербальних специфікацій предметної області. Слід зазначити, що розроблена онтологія включає два види представлення: вербальний та графічний. Для графічного представлення онтології була використана схематична мова Schematic Language (SL) стандарту IDEF5, що включає в себе кілька видів діаграм для побудови онтології. У рамках проведеного дослідження була використана композиційна схема (Composition Schematics), яка є механізмом графічного представлення складу класів онтології і фактично являють собою інструменти онтологічного дослідження за принципом «Що з чого складається». Зокрема, композиційні схеми дозволяють наочно відображати склад об'єктів, що відносяться до того чи іншого класу. Для вербального представлення було використано глосарій ПрО. Розроблена онтологія передбачає уточнення та розширення відповідно до вимог проектів, де дана онтологія буде використовуватися. Онтологія на рис. 1 побудована на основі понять, терміни яких складають словник досліджуваної ПрО, та зв'язків між ними. Відношення «part of» застосовується в композиційній частині схеми та

відображає склад об'єкту; «subkind of» – в класифікаційній частині схеми та вказує на різновид об'єкту.

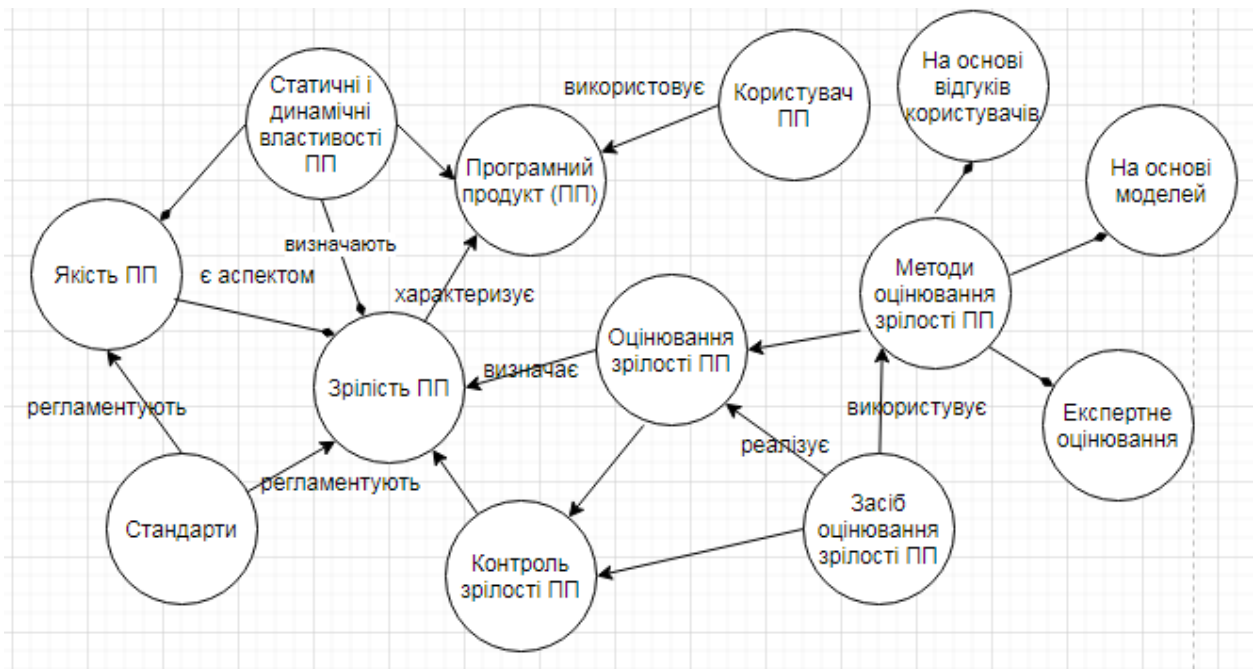


Рис. 1. Онтологічна модель домену зрілості ПП

У **другому розділі** представлено автором модель зрілості ПП (рис. 2), сформована з позицій 3-х ключових рівнів зрілості: генезису, росту та зрілості.

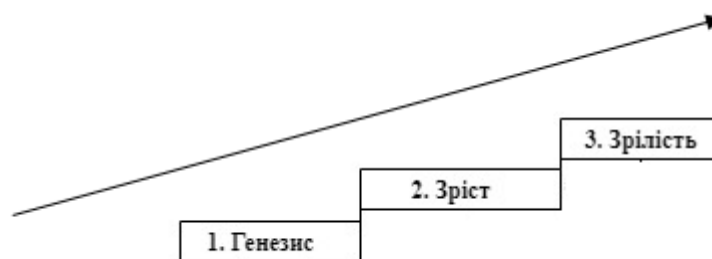


Рис. 2. 3-рівнева модель зрілості ПП

Перший рівень моделі характеризується оцінюванням рівня зрілості програмного коду. Оцінювання зрілості здійснюється за допомогою методу орієнтованого на метрики коду. Крім цього оцінка вводиться за допомогою індексу зрілості програмного коду, яка обчислюється за допомогою значень обрахованих метрик коду. З одного боку індекс зрілості програмного коду – це кортеж, який надає зворотний зв'язок користувачам щодо зрілості ПЗ:

$$\left(\frac{kINCL}{akINCL}, \frac{kTYPE}{akTYPE} \right) \quad (1)$$

де $\frac{kINCL}{akINCL}$ визначає знання розробників про домен, тобто розуміння бізнес логіки і її правильна реалізація, тобто на кожні 1000 рядків коду є велика кількість корисних команд, а отже немає непотрібних чи лишніх рядків коду, $\frac{kTYPE}{akTYPE}$ визначає знання розробників самої мови програмування якщо показник високий, це свідчить про те, що код написано правильно, коротко та лаконічно. Зрілими вважаються значення від 1,5 і більше.

Таблиця 2.2.

Змінна	Означення
$kINCL$	кількість команд на 1000 строк коду (KSLOC)
$akINCL$	середня кількість команд на 1000 коду із усього датасету
$kTYPE$	кількість визначених типів які зустрічаються на 1000 строк коду
$akTYPE$	середня кількість визначених типів на 1000 строк коду

З іншого боку індекс зрілості коду можна визначити як метрику, яка забезпечує вказівку на стабільність ПЗ (на основі змін, що відбуваються для кожного випуску продукту). Індекс зрілості ПЗ обчислюється таким чином:

$$SMI = [MT - (Fa + Fc + Fd)] / MT \quad (2)$$

де MT – кількість модулів у поточному випуску;

Fc – кількість модулів у поточному випуску, які було змінено;

Fa – кількість доданих модулів у поточному випуску

Fd – кількість модулів попереднього випуску, які були видалені в поточному випуску.

Якщо індекс зрілості наближається до 1, то продукт починає стабілізуватися. Даний індекс ґрунтується на пакетах, а не на рівнях деталізації класу або методу.

Другий рівень моделі характеризується оцінюванням рівня зрілості ПЗ. Під зрілістю ПЗ, як правило, розуміють якість ПЗ. Тому для оцінювання якості ПЗ необхідно дотримуватися відповідних характеристик, підхарактеристик, метрик та стандартів. Вирішення задачі оцінювання зрілості за допомогою розробленого методу передбачає такі етапи:

1. Побудова експертами ієрархічної структури якості ПЗ за допомогою структурного методу зверху-вниз (IEEE Std. 1061) і містить такі рівні: атрибути, показники та метрики.

2. Обчислення інтегральної оцінки якості на підставі оцінок атрибутів, значення яких отримані на основі оцінок метрик, які виставили користувачів.

3. Побудова математичної моделі оцінки якості ПЗ, що дозволяє, відповідно до ієрархічної моделі, зводити окремі значення критеріїв якості ПЗ, отримані на основі оцінок користувачів та ранжувань експертів, в єдину числову оцінку. Якщо виявлений рівень якості ПЗ рівний або більше заданого, то формується звіт, у протилежному випадку необхідно перейти до п. 4.

4. Побудова математичної моделі забезпечення якості ПЗ. Математична модель оцінки якості доповнюється функцією трудомісткості зміни

показників якості ПЗ, тим самим отримується модель забезпечення встановленого рівня якості ПЗ оптимальним чином.

5. Формування оптимального варіанта забезпечення встановленого рівня якості ПЗ. Результатом буде набір показників, що потребують покращення (з урахуванням величини зміни кожного показника). Для визначення впливу змінюваних показників на якість ПЗ пропонується встановити наявність та форму зв'язку між парами показників, що розглядаються.

6. Впровадження отриманого варіанта змін показників та контроль досягнення встановленого рівня якості ПЗ на наступній ітерації, при необхідності – коригування моделей.

7. За допомогою методу сигм встановити відповідний рівень зрілості ПП.

Рівень «Зрілість» характеризується двома напрямками: новими моделями організації ІТ-підприємств (екосистеми, технопарки, бізнес-інкубатори) та оцінкою зрілості ІТ-підприємств. Цей етап пов'язаний з побудовою таких структур, як бізнес-інкубатори, технопарки та екосистеми, які забезпечуються наявним бізнес-потенціалом, який може бути головним рушієм у становленні стійкості. Таким чином, проектування та встановлення вищезазначених структур включає: оцінювання процесів ІТ-підприємств, перебудовою організаційної структури, підвищенням кваліфікації персоналу в цій галузі тощо. Цей крок включає: встановлення меж екосистем ПЗ, визначення експертів у цій конкретній галузі, вибір характеристик та показників (продуктивність, різноманітність, гнучкість, продуктивність, стійкість (життєздатність), зрілість) для оцінювання, аналіз результатів та вибір типу моделі для ІТ-підприємства, сформувавши рекомендації. Для оцінювання зрілості ІТ-підприємств на сьогодні існує значна кількість розробок моделей зрілості управління, найпопулярнішими з яких є такі: модель зрілості Керцнера; модель зрілості Берклі; модель зрілості ОРМЗ (Organizational Project Management Maturity Model); модель СММІ (Capability Maturity Model Integration). Вибір моделі для оцінювання залежить від проектів та процесів ІТ-підприємств. Ці моделі мають багато спільних рис. Основним принципом їх побудови є перехід від нижчого рівня зрілості (загальне усвідомлення проектного управління) до вищого, що передбачає безперервне вдосконалення процесу управління.

Дані моделі зрілості передбачають, що ключові практики групуються у спеціальні цілі, далі цілі групуються в області процесів. Таким чином, для визначення рівня зрілості доцільно використовувати ієрархічні системи нечіткого логічного висновку. Тоді зрілість ІТ компанії буде визначатися співвідношенням (3):

$$M = f(f_1(P_1, P_2, \dots, P_{i_1}), f_2(P_1, P_2, \dots, P_{i_2}), \dots, f_n(P_1, P_2, \dots, P_{i_n})), \quad (3)$$

де M – зрілість компанії, $f_1(), f_2(), \dots, f_n()$ – функції виведення зрілості для відповідних рівнів, P_1, P_2, \dots, P_{i_j} – засвоєння процесних областей у моделях зрілості.

У свою чергу, засвоєння кожної процесної області буде визначатися співвідношенням (4):

$$P_i = h_i(g_{i1}(p_{i11}, \dots, p_{i1i}), \dots, g_{in}(p_{inm})), \quad (4)$$

де $h_i()$ – функція нечіткого виведення освоєності процесної області з індексом i , $g_{ij}()$ – функція нечіткого виведення досягнення ІТ-компаній j -ої спеціальної мети для i -ої процесної області, p_{ijk} – освоєння ІТ-компанією k -ої спеціальної практики моделі, що входить в j -у спеціальну мету для i -ої процесної області.

Визначимо оцінки NI, PI, LI, FI як нечіткі числа, задані нечіткими множинами N, P, L, F на множині дійсних чисел R . Носіями множин N, P, L, F визначимо інтервали на множині R – $[n_L, n_R], [p_L, p_R], [l_L, l_R], [f_L, f_R]$ відповідно. Для кожного числа NI, PI, LI, FI задамо на R функції належності $\mu_i(x)$ такі, що $\forall x \in R | \mu_i(x) \in [0, 1]$, де $i \in \{N, P, L, F\}$.

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \text{left} \left(\frac{x - a_1}{a_2 - a_1} \right), & \text{де } a_1 \leq x < a_2 - \text{функція лівого краю } \mu_{i\uparrow}(x), \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \end{cases} \quad (5)$$

$$= \begin{cases} \text{right} \left(\frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} \right), & a_1 < x \leq a_2 - \text{функція правого краю } \mu_{i\downarrow}(x). \\ 0 & x > a_4 \end{cases}$$

Для таких нечітких чисел визначено поняття метрики між двома числами:

$$d^2(a, b) = \int_0^1 (A_L(a) - B_L(a))^2 da + \int_0^1 (A_U(a) - B_U(a))^2 da, \quad (6)$$

де нечітке число задано через поняття α – перетину такого, що $\forall a \in [0, 1] \exists a_1 \leq x \leq a_4$ і $\mu_a(x) \geq a$ і $A_L(a) = \mu_{a\uparrow}^{inv}(x)$ – обернена функція $\mu_a(x)$ на інтервалі її зростання, а $A_U(a) = \mu_{a\downarrow}^{inv}(x)$ – обернена функція $\mu_a(x)$ на інтервалі її спадання.

Для визначення досяжності ІТ-компаній спеціальної мети і областей процесу розглянемо функцію $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_n$, де операція \oplus буде операцією додавання нечітких чисел згідно з формулою (7):

$$a \oplus b = \int_{a_1 \otimes b_1}^{a_2 \otimes b_2} \frac{\min(\mu_a(x), \mu_b(y))}{x \otimes y}, \quad (7)$$

де операція \otimes – операція $+, -, \times, /$. Досягнення спеціальної мети G_i освоєння процесів оцінюваної ІТ-компанії опишемо у вигляді лінгвістичної характеристики: повністю досягнута (FR), частково досягнута (PR), не досягнута (NR).

У загальному випадку будемо вважати, що спеціальна мета G_i досягнута (FR), якщо сума відповідей експертів на питання про ступінь впровадження в компанії ключових практик, визначених моделлю зрілості, вираженого у вигляді нечіткого числа, рівного $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_n$, наближаються до нечіткого числа $FI * n = FI_1 \oplus \dots \oplus FI_n$.

Спеціальна мета G_i досягнута частково (PR), якщо $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_n$ наближається до нечіткого числа $PI * n = \frac{LI * n \oplus PI * n}{2}$.

Спеціальна мета G_i не досягнута (NR), якщо $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_n$, наближається до нечіткого числа $NI * n = NI_1 \oplus \dots \oplus NI_n$.

Освоєння області процесу виражається у вигляді суми оцінок G_i виду NR, PR, FR , отриманих на попередньому кроці для спеціальних цілей, що входять до конкретної області процесу. Освоєння областей процесу позначимо лінгвістичними змінними NF, FF, PF , що буде відповідати поняттям «область не освоєна», «освоєна частково», «повністю освоєна». Вони будуть обчислюватися в загальному вигляді за такими правилами:

процесна область $F_i = PF$, якщо $\sum_{i=1}^n G_i$ наближається до $\sum_1^n NR$;

процесна область $F_i = PF$, якщо наближається до $\sum_1^n PR$;

процесна область $F_i = PF$, якщо наближається до $\sum_1^n FR$;

Далі необхідно визначити освоєння ІТ-компанією рівнів зрілості. Для цього необхідно визначити функції $f()$, $f_1()$, $f_2()$, ..., $f_n()$ з рівності (4). Але якщо для функцій $f_1()$, $f_2()$, ..., $f_n()$ можна застосовувати аналогічні міркування, виразивши їх результат через суму освоєних процесних областей, то для функції $f()$ такі міркування вже не підійдуть. Вважається, що компанія досягає n -го «повторюваного» рівня (R), якщо вона досягла $(n-1)$ -го «встановленого» рівня (D) і в більшості освоїла процесні області, специфічні для n -го рівня зрілості. Якщо значення функцій $f_1()$, $f_2()$, ..., $f_n()$ визначаються терм-множиною $\{NM, PM, FM\} = \{\text{"генезис"}, \text{"розвиток"}, \text{"зрілість"}\}$, тоді можна сформулювати такий набір нечітких правил:

Якщо $f_{n-1}(P_1, \dots, P_{i_{n-1}}) = NM$, тоді $M = I$.

Якщо $f_{n-1}(P_1, \dots, P_{i_{n-1}}) = PM$, тоді $M = D$.

Якщо $f_{n-1}(P_1, \dots, P_{i_{n-1}}) = FM$, тоді $M = D$.

Якщо $f_{n-1}(P_1, \dots, P_{i_{n-1}}) = PM$ і $f_n(P_1, \dots, P_{i_1}) = NM$, тоді $M = D$.

Якщо $f_{n-1}(P_1, \dots, P_{i_{n-1}}) = PM$ і $f_n(P_1, \dots, P_{i_1}) = PM$, тоді $M = R$.

Якщо $f_{n-1}(P_1, \dots, P_{i_{n-1}}) = FM$ і $f_n(P_1, \dots, P_{i_1}) = PM$, тоді $M = R$.

Якщо $f_{n-1}(P_1, \dots, P_{i_{n-1}}) = FM$ і $f_n(P_1, \dots, P_{i_1}) = FM$, тоді $M = R$.

У **третьому розділі** описано розроблений програмний засіб для оцінювання зрілості ПП – систему, яка реалізує розглянуті методи та модель. В даному розділі представлені основні компоненти, їх призначення та особливості, а також сформульовані функціональні вимоги, які представлені у вигляді Use Case діаграми (рис. 3) та за допомогою вербальних специфікацій; архітектуру системи; зображено компоненти складових програмної системи за допомогою діаграм компонентів, сутностей; діаграма класів та діаграма розгортання.

Програмна система складається з трьох основних частин:

1. Web-сервер, що забезпечує збір даних. Використовувалась технологія ASP.NET MVC. Відповідні сервлети, на які перетворюються ASP-

документи перед використанням, розміщено у Web-контейнері IIS (Internet Information Server), що забезпечує обмін даними між сервлетом та користувачами, виконує функції створення програмного середовища для функціонуючого сервлета, ідентифікації та авторизації експертів, організації сесії для кожного з них. Статичні вихідні дані ASP-сторінки оформлено в HTML (Razor).

2. База даних, яка зберігає зібрану інформацію та налаштування системи. Управляється за допомогою MS SQL Server 2019.

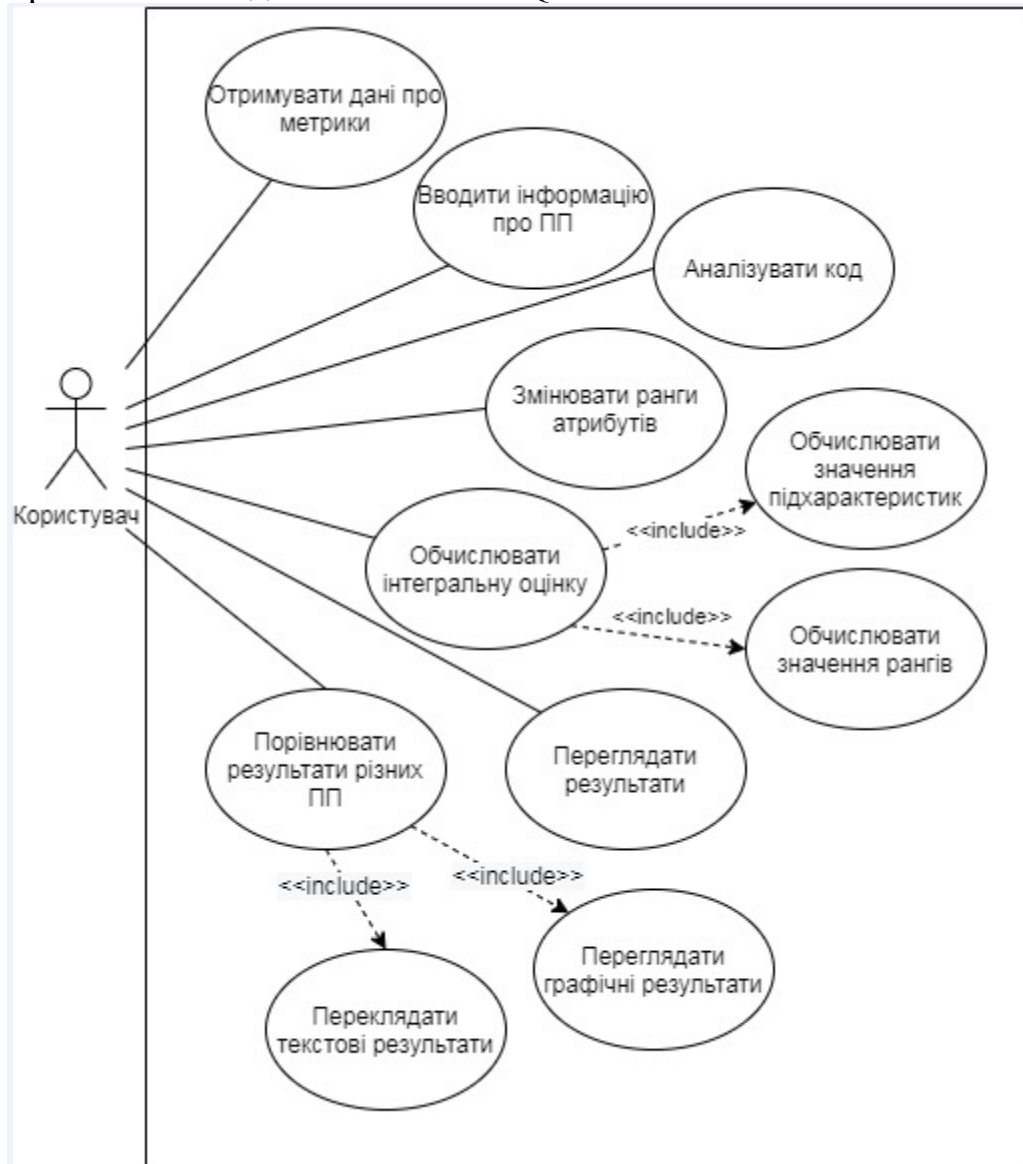


Рис. 3. Use Case діаграма

3. Аналізатор, який забезпечує налаштування всього комплексу, вибірку даних з БД, їх аналіз у напівавтоматичному режимі і виведення результатів. Реалізований у вигляді віконної інтерактивної системи. При розробці застосовувалися мови C# і C++. Аналізатор містить такі підсистеми:

- підсистема завантаження та первинного аналізу даних. Використовуючи бібліотеки Highcharts .NET та Syncfusion Essential XlsIO, виконує розрахунки статистичних коефіцієнтів і будує двовимірну

гістограму розподілу значень оцінок користувачів та рангів експертів, отриманих з БД. Результати виводяться у числовій і графічній формах відповідно. Для графічного відображення використано бібліотеку візуалізації на основі ILNumerics;

- підсистема оцінки зрілості та узгодженості відповідей користувачів/експертів. Результати виконання відповідних функцій виводяться у формі звіту, у якому відображається значення коефіцієнта конкордації та розподіл експертних ранжувань за кластерами. Після цього підсистема виконує розрахунок вагових коефіцієнтів і поточного рівня зрілості, що аналізується. Результати в числовому вигляді відображаються у формі звіту.

- підсистема аналізу коду ПЗ, що дає можливість для автоматизації процесу обчислення метрик коду ПЗ та моніторингу еволюції ПЗ.

На рис. 4-5 наведені скріншоти роботи програмного засобу. На рис. 4 показано одне з вікон при роботі з програмним засобом, а саме вікно для вимірювання якості ПЗ. Користувачу доступне меню, що складається з трьох вкладень: вимірювання, аналізатора коду та довідки. Пункт довідка містить інформацію необхідну для користувача та описує метрики і атрибути, що використовуються при розрахунку зрілості ПЗ.

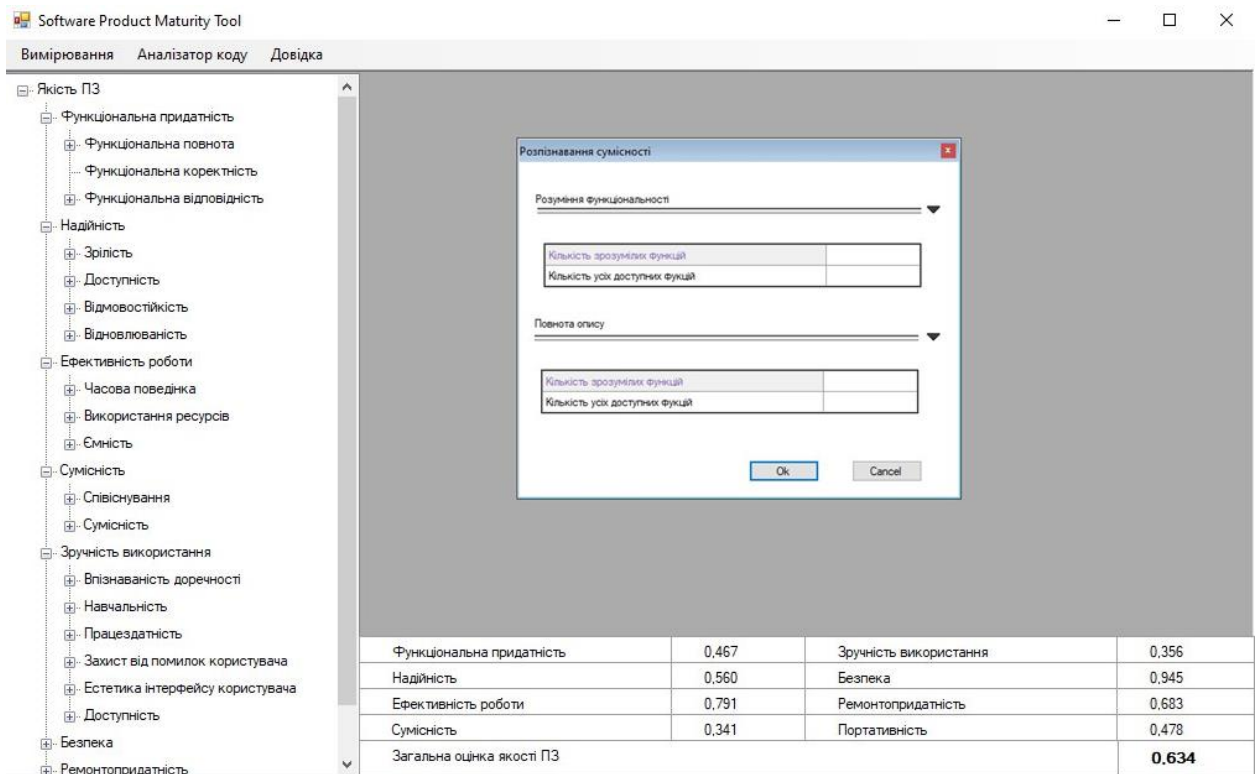


Рис. 4. Вікно для вимірювання зрілості ПЗ

На лівій панелі відображені атрибути, що будуть використовуватися при оцінюванні ПЗ, вони представлені у вигляді структурного дерева. Знизу у вигляді таблиці будуть відображатися результати обрахунку атрибутів. При натисненні на певний елемент структурного дерева, що ієрархічно

відображає усі атрибути, що використовують при оцінці зрілості ПЗ, буде відображена форма для введення відповідних даних. У поля для вводу даної форми необхідно ввести дані про ПП, що мають бути визначеними для кожної метрики. При натисненні кнопки «Ок» відбувається обрахунок зазначеної підхарактеристики за визначеними метриками та відображення отриманих даних у таблиці результатів.

Крім цього в системі доступні наступні функції:

- Порівняння продуктів – ця функція надає можливість порівняння отриманих оцінок підхарактеристик зрілості та інтегральної оцінки зрілості двох або більше програмних продуктів;
- Збереження даних для порівняння – при натисненні на даний пункт меню відбувається збереження результатів вимірювання зрілості певного ПП для подальшого порівняння;
- Відображення результату – ця функція дозволяє відобразити результат у текстовому та графічному виді, розрахований для двох чи більше ПП;
- можливість перегляду інформації про використовувані метрики, а саме пояснення даної метрики, формула розрахунку та значення, що будуть використовуватися;
- Змінити значення рангів атрибутів зрілості.
- Аналізувати програмний код відповідно до обраних метрик.

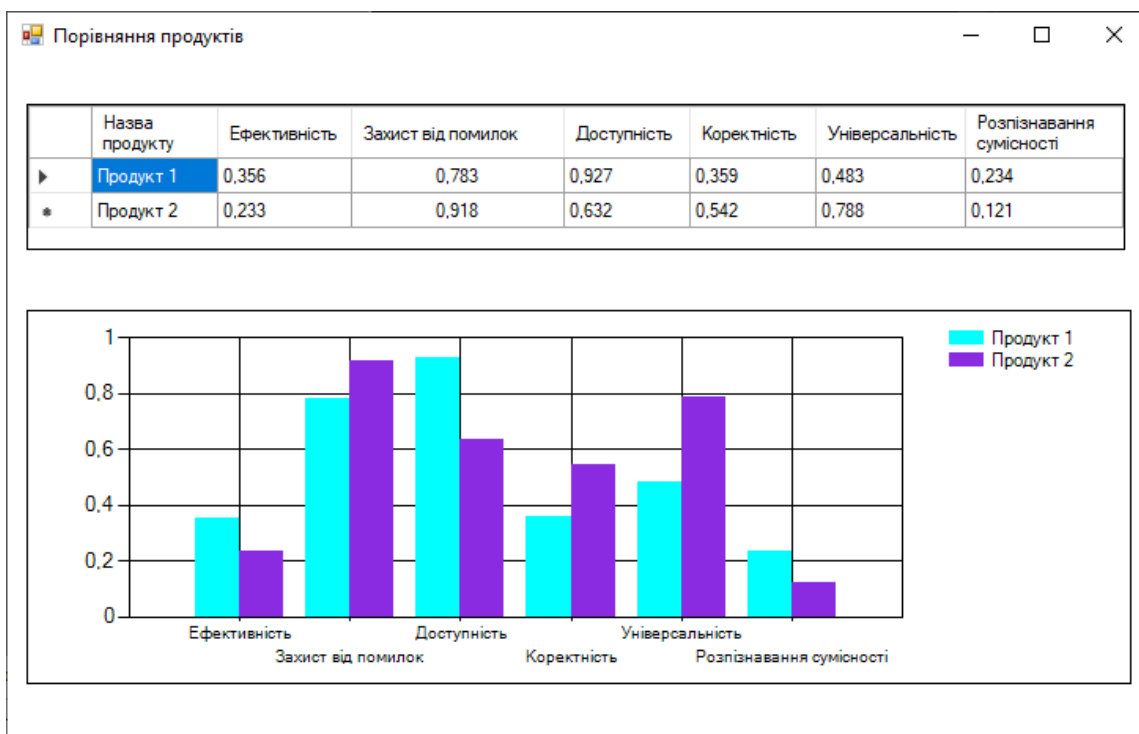


Рис. 5. Вікно порівняння зрілості двох ПП

Реалізована програма дозволяє вирахувати інтегральну оцінку зрілості ПП та оцінки по кожній з підхарактеристик зрілості ПП. Оскільки рахується, що достатність рівня зрілості визначається шляхом порівняння отриманих оцінок з відповідними аналогами, то програмна система надає можливість

відображення результатів різних проектів у текстовому та графічному вигляді для порівняння. Аналогами обирають реально існуючі програмні продукти того самого функціонального призначення, з такими ж основними параметрами, подібною структурою та умовами експлуатації.

У **четвертому** розділі було апробовано розроблену програмну систему і, безпосередньо, самі запропоновані методи. У дослідженні використовувалися відомі методи емпіричної інженерії програмного забезпечення – анкетування (survey) користувачів та експертів та метод SEER (Scenario Exploration, Elaboration and Review). У ролі користувачів та експертів виступили працівники ТОВ «Lime Systems». Їм було запропоновано оцінити проект відповідно до моделі за допомогою відповідних метрик, обраними для оцінювання (ISO/IEC 25010:2011). У дослідженні описано результати первинної обробки даних опитування, перевірку узгодженості ранжувань експертів, якими виступили фахівці предметної галузі.

У **висновках** сформульовані основні наукові результати дисертаційної роботи.

У **додатках** наведені: глосарій, акти впровадження результатів дисертаційної роботи та список опублікованих праць за темою дисертації.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі теоретично обґрунтовано й вирішено важливе науково-технічне завдання оцінювання зрілості ПП. Основні результати дисертаційної роботи:

1. За результатами аналізу ПрО розроблено онтологічну модель домену зрілості ПП. Запропоновано понятійний апарат для ПрО. Встановлено означення та моделі, які використовуються для оцінювання окремих складових зрілості ПП, проаналізовано методи та засоби здійснення оцінювання та забезпечення встановленого вимогами рівня. Показано, що наявні методи досягнення зрілості стосуються окремих процесів управління зрілістю – планування та контролю. Тому особливої актуальності набуває задача розробки методів та засобу оцінювання зрілості ПЗ, які б дозволили забезпечувати зрілість ПП у процесі їх створення та супроводження.

2. Вперше на основі процесного підходу створено модель зрілості ПП, яка, охоплюючи задачі планування, контролю, забезпечення й управління зрілості ПП, спрямована на їх розв'язання за допомогою застосування формального апарату теорії прийняття рішень. Застосування методів дозволяє ґрунтовно управляти зрілістю ПП з урахуванням ресурсів розробки.

3. Удосконалено математичну модель оцінювання рівнів зрілості на основі ключових практик, цілей та областей процесів, тобто використовуються ієрархічні системи нечіткого логічного висновку. Застосування моделі дозволяє в разі невідповідності рівня зрілості

встановленим вимогам здійснити коригуючі дії з досягнення відповідного рівня в результаті рішення оптимізаційної задачі.

4. Отримало подальший розвиток розв'язання задачі контролю зрілості шляхом створення математичної моделі оцінки зрілості ПП на кожному із рівнів моделі. Застосування моделі дозволяє контролювати відповідність зрілості ПП встановленим вимогам та створити на її основі математичну модель забезпечення зрілості ПП..

5. За допомогою розроблених у дисертації методів та засобу оцінки проведено оцінку зрілості ПП та визначено її рівень зрілості, що підтвердило практичну значущість методів та засобу оцінювання зрілості ПП. Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес Національного авіаційного університету та в процесі управління у ТОВ «Лайм Системс».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Гріненко О.О., Гріненко С.А. Концептуальні основи моделювання екосистем програмного забезпечення / О.О. Гріненко, С.А. Гріненко // Науковий журнал. Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2017. – №1(45). – С. 94 – 103. **Внесок автора:** запропоновано модельно-орієнтований підхід (MDA) для моделювання екосистем програмного забезпечення.

2. Гріненко С.А. Інформаційна технологія забезпечення сталого розвитку ІТ-підприємств / С.А. Гріненко // Науковий журнал. Технічні науки та технології. – 2019. – № 3(17). – С. 140 – 145.

3. Поперешняк С.В., Гріненко С.А. Модель оцінки ІТ підприємств, яка заснована на інноваційній зрілості персоналу. / С.В. Поперешняк, С.А. Гріненко // Науковий журнал. Вісник інженерної академії. – 2019. – № 3. – С. 162 – 168. **Внесок автора:** запропоновано методіку оцінювання ІТ підприємств на основі інноваційної зрілості персоналу.

Статті у наукових фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних:

4. Kozlovskiy V.V., Grinenko S. A., Skalova V.A. Models of Evaluation of Software Maturity / V.V. Kozlovskiy, S.A. Grinenko, V.A. Skalova // Науковий журнал. Інженерія програмного забезпечення. – 2016. – № 3(27). – С. 38 – 43. **Внесок автора:** встановлено переваги та недоліки існуючих моделей оцінювання зрілості програмного забезпечення.

5. Grinenko S. A. Mathematical model of providing and software maturity assessment / S.A. Grinenko // Науковий журнал. Інженерія програмного забезпечення. – 2016. – № 4(28). – С. 5 – 14.

6. Kozlovskiy V.V., Grinenko S.A. The Measurements of Software Product Maturity / V.V. Kozlovskiy, S.A. Grinenko // Науковий журнал. Інженерія програмного забезпечення. – 2017. – № 2(30). – С. 52 – 58. **Внесок автора:** запропоновані методи оцінювання зрілості ПП.

7. Poperehnyak S., Grinenko S. Development of an Ontological Model for the Domain of IT Enterprise Sustainable Development / S. Poperehnyak, S. Grinenko // Науковий журнал. Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2019. – №3/2(47). – С. 43 – 45. **Внесок автора:** розроблена онтологія Про сталого розвитку ІТ підприємств.

Статті у закордонних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних:

8. Poperehnyak S., Grinenko S. Model of Innovative Maturity of Personnel for Estimation of IT Enterprises / S. Poperehnyak, S. Grinenko // Науковий журнал. East european scientific journal. – 2019. – Vol.5. – №10 (50). – С. 33 – 40. **Внесок автора:** запропоновані моделі для оцінювання ІТ підприємств на основі інноваційної зрілості персоналу.

9. Grinenko O., Grinenko S. One approach to study software ecosystem properties / O.Grinenko, S. Grinenko // International Journal “Information Theories and Applications”, Vol. 26, Number 4, 2019. – С. 397 – 405. **Внесок автора:** запропоновані характеристики для дослідження екосистем програмного забезпечення.

10. Poperehnyak S., Grinenko S., Grinenko O. Kovalenko O., Radivilova T. The Methodology for Assessing the Maturity Level of Software Ecosystems / S. Poperehnyak, S. Grinenko, O. Grinenko, O. Kovalenko, T. Radivilova // Proceedings of the 1st International Workshop on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks. – 2019. – ceur Vol-2654. – pp. 251 - 261. **Внесок автора:** розроблено 3-рівневу модель для оцінювання екосистем програмного забезпечення.

Тези наукових конференцій:

11. Grinenko S.A. Ecological Approach for Research of Software / S.A. Grinenko // XIX Всеукраїнська наукова конференція молодих учених «Актуальні проблеми природничих і гуманітарних наук у дослідженнях молодих учених», Черкаси, 27-28 квітня 2017 р. – Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б.Хмельницького, 2017. – С. 202.

12. Grinenko S.A. Theoretical Aspects of the origin and Development of Software Ecosystems / S.A. Grinenko // Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів та студентів «Інженерія програмного забезпечення – 2017», Київ, 06-09 червня 2017 р. – Київ: Національний авіаційний університет, 2017. – С. 12.

13. Grinenko S.A. Information technology for assessment of software ecosystem maturity levels / S.A. Grinenko // XIV Міжнародна науково-технічна конференція «ABIA – 2019», Київ, 23-25 квітня 2019 р. – Київ: Національний авіаційний університет, 2019. – С. 6.27 – 6.29.

14. Grinenko S.A. Mathematical Model of IT Ecosystem Based on Transition Systems / S.A. Grinenko // XV Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту – 2019», Херсон – Залізний Порт, 21-25 травня 2019 р. – Херсон: Херсонський національний технічний університет, 2019. – С. 47 – 48.

15. Grinenko S.A. Principles of Sustainable Development in IT industry / S.A. Grinenko // Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні технології в освіті та науці – 2019», Мелітополь, 13-14 червня 2019 р. – Мелітополь: Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Б.Хмельницького, 2019. – С. 88 – 91.

16. Grinenko S.A. One Approach for Evaluation the Maturity of IT Enterprise / S.A. Grinenko // III Міжнародна науково-практична конференція «Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві – 2019», Київ, 30 вересня 2019 р. – Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2019. – С. 202.

АНОТАЦІЯ

Гріненко С.А. Методи та засіб оцінювання зрілості програмних продуктів. – 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 авіаційний університет, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розробці методів та засобу оцінювання зрілості програмних продуктів. У роботі обґрунтовано необхідність оцінювання зрілості при створенні програмного продукту. Для оцінювання зрілості програмних продуктів в процесі його розробки створено методи, які ґрунтуються на автоматизованій багатокритеріальній оцінці зрілості. Застосування методів дозволяє ґрунтовно управляти зрілістю програмних продуктів з урахуванням ресурсів розробки. Розроблено математичні моделі оцінки та забезпечення зрілості програмних продуктів. Модель оцінки зрілості використання є трирівневою і ґрунтується на методиці оцінки кожного рівня даної моделі. Для дослідження програмних продуктів на зрілість була розроблена класифікація властивостей, які досліджуються відповідними методами, а також розроблені та реалізовані оригінальні алгоритми для виконання аналізу властивостей. На основі запропонованих моделей та методів створено програмну систему, яка підтримує вирішення задачі оцінювання зрілості програмних продуктів,

ґрунтуючись на автоматизованій оцінці з врахуванням критеріїв та метрик програмних продуктів.

Ключові слова: програмне забезпечення, зрілість програмного продукту, оцінювання зрілості програмного продукту, управління зрілістю програмних продуктів.

АННОТАЦИЯ

Гриненко С.А. Методы и средство оценивания зрелости программных продуктов. – 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 авиационный университет, Киев, 2021.

Диссертационная работа посвящена разработке методов и средства оценивания зрелости программных продуктов. В работе обоснована необходимость оценки зрелости при создании программного продукта. Для оценки зрелости программных продуктов в процессе его разработки созданы методы, которые основываются на автоматизированной многокритериальной оценке зрелости. Применение методов позволяет основательно управлять зрелостью программных продуктов с учетом ресурсов разработки. Разработаны математические модели оценки и обеспечения зрелости программных продуктов. Модель оценки зрелости использования является трехуровневой и основывается на методике оценки каждого уровня данной модели. Для исследования программных продуктов на зрелость была разработана классификация свойств, которые исследуются соответствующими методами, а также разработаны и реализованы оригинальные алгоритмы для выполнения анализа свойств. На основе предложенных моделей и методов создано программную систему, которая поддерживает решения задачи оценки зрелости программных продуктов, основываясь на автоматизированной оценке с учетом критериев и метрик программных продуктов.

Ключевые слова: программное обеспечение, зрелость программного продукта, оценивание зрелости программного продукта, управление зрелостью программных продуктов.

ANNOTATION

Grinenko S.A. Methods and tool for assessing the maturity of software products. – As a manuscript.

Dissertation for obtaining a candidate degree in technical sciences of the speciality 01.05.03. – Mathematical and software of computing machines and systems. – National Aviation University, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the development of methods and tools for assessing the maturity of software products. The paper substantiates the need to assess maturity when creating a software product. To assess the maturity of software products in the development process, methods have been created that are based on an automated multi-criteria assessment of maturity. The use of methods allows you to thoroughly manage the maturity of software products, taking into account development resources. Mathematical models for assessing and ensuring the maturity of software products have been developed. The use maturity assessment model is three-tier and is based on the assessment methodology for each level of the model. To study software products for maturity, a classification of properties was developed, which are investigated by appropriate methods, and original algorithms were developed and implemented to perform property analysis. On the basis of the proposed models and methods, a software system has been created that supports solutions to the problem of assessing the maturity of software products, based on an automated assessment taking into account the criteria and metrics of software products.

Keywords: software, software product maturity, software product maturity assessment, software product maturity management.