

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Товстокоренко Олег Юрійович

УДК 004.942:004.05

ДИСЕРТАЦІЯ

МОДЕЛІ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ТА СУПРОВОДУ  
ВАРІАБЕЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
СИСТЕМ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

122 – Комп’ютерні науки та інформаційні технології  
12 – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

*Ідеї використані з інших  
примірними дисертаціями  
засвідчують*

*Вч. Сирешар*

*проф. Замовороний О.В.*

*13 грудня 2021 р.*

О.Ю. Товстокоренко

Науковий керівник

Ткачук Микола Вячеславович

доктор технічних наук, професор



Харків - 2021

## АНОТАЦІЯ

Товстокоренко О.Ю. Моделі та інструментальні засоби розробки та супроводу варіабельних компонентів програмного забезпечення систем «Розумний будинок» - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – комп’ютерні науки, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі підвищення ефективності процесів розробки та супроводу систем «Розумний будинок» шляхом застосування методів та засобів доменного моделювання для створення варіабельних компонентів програмного забезпечення (ПЗ) таких систем.

*Об’єкт дослідження* – процеси розробки та супроводу систем «Розумний будинок» як окремого класу систем, що будуються на основі концепцій та технологій «Інтернету речей» (IoT).

*Предмет дослідження* – моделі, методи та інструментальні програмні засоби для забезпечення управління варіабельністю програмного забезпечення в процесах розробки та супроводу систем «Розумний будинок».

*Методи дослідження.* Для вирішення поставлених задач було використано:

- принципів прикладного системного аналізу;
- моделей та методів сучасної програмної інженерії, зокрема на використанні методів доменного моделювання, об’єктно-орієнтованих методах аналізу та синтезу ПЗ;
- кількісних метрик ефективності ПЗ;
- математичного апарату теорії множин;

- експертних методів теорії прийняття рішень;
- застосуванні уніфікованої мови моделювання UML (Unified Modeling Language) та SysML (System Modeling Language).

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

вперше запропоновано:

- операційну модель процесу управління вимогами з урахуванням ступеня їх варіабельності, яка на відміну від існуючих підходів, використовує метод латентного семантичного аналізу для опрацювання текстового опису вимог у поєднанні з методами доменного моделювання програмного продукту, що дозволяє зменшити розмір каталогу вимог на кожну ітерацію (спринт) в гнучкому процесі розробки програмних компонентів за методологією Scrum;

- архітектурні компонентні моделі інструментального програмного засобу для реалізації процесу опрацювання вимог із використанням запропонованої операційної моделі, що дозволяє частково автоматизувати процес аналізу варіабельних вимог, за рахунок чого скоротити час, необхідний для аналізу вимог на кожній проектній ітерації;

удосконалено: інформаційну технологію управління програмними компонентами систем «Розумний будинок» шляхом розробки моделі варіабельності програмно-апаратних ресурсів та реалізації експертної процедури для попередньої оцінки їх структурної складності, що дозволяє зменшити час, необхідний в подальшому на налаштування та супровід таких систем;

отримали подальший розвиток: методи інтеграції програмно-апаратних ресурсів систем «Розумний будинок» за рахунок розробки і використання альтернативних архітектурних моделей із урахуванням властивостей їх варіабельності, що забезпечило можливість автоматизувати процеси конфігурування нових програмних компонентів таких систем.

Запропоновані моделі та технологічні процедури проектування і супроводу варіабельних програмних компонентів і розроблені для їх підтримки інструментальні програмні засоби були успішно використані для вирішення цих завдань при виконанні прикладної НДР МОН України «Концептуальні моделі, методи та технології створення адаптивних інформаційних систем на основі знання-орієнтованих підходів та засобів розробки програмного забезпечення» (№ ДР: 0121U110310) у Каразінському університеті, а також в розробках перспективних ІТ-проектів в австрійсько-українській компанії «Бітмедіа-Україна», ТОВ (м. Харків).

У вступі до дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми дослідження, показано зв'язок роботи з науковими темами. Сформульовано мету дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, які базуються на застосуванні принципів прикладного системного аналізу, моделей та методів сучасної програмної інженерії, зокрема на використанні методів доменного моделювання, об'єктно-орієнтованих методах аналізу та синтезу ПЗ, кількісних метрик ефективності ПЗ, а також на використанні базових положень теорії управління, математичного апарату теорії множин, експертних методів теорії прийняття рішень і застосуванні уніфікованої мови моделювання UML (Unified Modeling Language) та мови моделювання SysML (System Modeling Language) для аналізу апаратно-програмних рішень.

Описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено інформацію про практичне застосування та особистий внесок здобувача, апробацію результатів дослідження та їх висвітлення у публікаціях, а також містяться відомості щодо структури та обсягу дисертаційної роботи.

У першому розділі здійснено аналітичний огляд підходів до супроводу варіабельних компонентів програмних систем різного призначення. Проаналізовано поточний стан розробок ПЗ у таких нових високотехнологічних предметних галузях як створення систем «Розумний

дім» («Smart-Home» systems – SHS), які в свою чергу належать до більш широкого класу сучасних комп'ютеризованих систем: систем «Інтернету речей» (Internet of Things - IoT), і які представляють собою складні розподілені апаратно-програмні комплекси, що мають відповідні інтелектуальні інтерфейси для підтримки зручної роботи різних груп їх користувачів. Огляд розробок у галузі SHS-систем дозволив зробити висновок, що наразі існує значний прогрес саме у створенні ефективних апаратних рішень, але в той же час недостатньо опрацьованими залишаються питання підвищення ефективності процесів розробки та супроводу саме програмних компонентів шляхом забезпечення їх варіабельності та можливостей повторного використання у перспективних SHS, і це зумовлює актуальність цього дисертаційного дослідження. Представлена постановка задачі розробки та дослідження модельно-технологічного інструментарію для підвищення ефективності процесів розробки та супроводу варіабельних компонентів ПЗ систем «Розумний будинок».

У другому розділі дисертації представлені методологічні основи для розробки та супроводу варіабельних компонентів ПЗ систем «Розумний будинок». Розглянуто можливість застосування доменного моделювання в якості концептуальної основи для аналізу властивостей варіабельності програмних компонентів систем «Розумний будинок» і проведено аналітичний огляд методів розробки варіабельних компонентів ПЗ систем «Розумний будинок».

Проведено порівняльний аналіз CASE – засобів автоматизації процесів проектування та супроводу програмного забезпечення систем «Розумний будинок» і визначені особливості застосування гнучкої методології Scrum для побудови варіабельних програмних компонентів.

На основі результатів виконаного порівняльного аналізу було виявлено, що метод доменного моделювання FeatureIDE має потужніші можливості для

створення моделей варіабельних властивостей ПЗ. Додатково, FeatureIDE має можливість генерації коду продукту з вихідного коду окремих модулів відповідно до вибраної конфігурації продукту.

В третьому розділі описано процес розробки моделей, процедур та інструментальних засобів для побудови і супроводу варіабельних програмних компонентів систем «Розумний будинок». Запропоновано операційну модель (ОМ) опрацювання вимог в контексті розробки варіабельних програмних компонентів за методологією Scrum. Ця ОМ дозволяє формалізувати процес управління змінністю вимог у процесі розробки варіабельних програмних компонентів «Розумний будинок», і вона передбачає формування спеціального інформаційного базису (*InfBase*), який містить текстовий опис множини вимог до компонентів ПЗ, артефактів програмного забезпечення, а також інформацію про ітерації проекту та ролі розробників ПЗ. Для опрацювання текстового опису вимог мотивовано обрано метод латентно-семантичного аналізу (ЛСА) у поєднанні з використанням коефіцієнта кореляції Пірсона для визначення ступеня семантичної подібності тексту опису різних вимог, що уможлиблює їх розподіл на 3 окремі категорії: Core – це вимоги, що вже були реалізовані раніше, Var – це частково реалізовані вимоги, та New – це такі, що мають бути реалізовані уперше.

На основі застосування запропонованої ОМ розроблена процедура побудови динамічного каталогу вимог для проектної ітерації. В залежності від того, до якої категорії (Core, Var, New) потрапить вимога, її буде оброблено тим чи іншим способом. Це, в свою чергу, дозволяє скоротити їх кількість на етапі формування каталогу вимог окремого спринту, за рахунок чого стає можливим підвищення ефективності усього процесу опрацювання вимог у гнучкій методології Scrum.

Також у третьому розділі запропоновано доменну модель варіабельних програмних компонентів на етапі супроводу системи «Розумний будинок», та

розроблено процедуру оцінки показника ефективності супроводу програмних компонентів систем «Розумний будинок». Для забезпечення автоматизованої підтримки процедур побудови варіабельних програмних компонентів розроблені оригінальні архітектурні моделі відповідних інструментальних засобів.

Четвертий розділ дисертації присвячено програмній реалізації та експериментальному дослідженню розроблених моделей та інструментальних засобів. Було проведено порівняння двох варіантів доменних моделей (ДМ) з використанням показника ефективності супроводу ПЗ. Розрахунки запропонованого показника базуються на обчисленні суми витрат часу, який є необхідним для підтримки певного функціоналу системи на етапі її супроводу. В контексті супроводу системи «Розумний будинок» це і процес налаштування нових компонент в існуючій системі «Розумний будинок» (зокрема, це загальні мережеві налаштування, встановлення режимів роботи окремих компонентів ПЗ тощо).

В результаті аналізу розрахунків критерію супроводу, застосування запропонованої модифікації архітектури системи «Розумний дім» веде до підвищення показника ефективності супроводу системи.

Запропоновано архітектуру інструментального CASE - засобу для автоматизації ряду процесів супроводу варіабельних компонентів ПЗ систем «Розумний будинок». Розроблений прототип цього інструментального засобу дозволяє автоматизовано проводити розрахунки щодо визначення кількісних параметрів для показник ефективності: це складність доменної моделі з урахуванням змін для певного нового програмного модуля систем «Розумний будинок». На вхід CASE-засобу для аналіз подається розроблена доменна модель (у XML-форматі) та згенерований каркас вихідного коду на мові програмування Java. Отримані данні аналізу використовуються для вибору певної архітектурної реалізації нового програмного компоненту. Далі на

основі обраного архітектурного рішення проводиться розробка та впровадження нового програмного модуля системи. Для експериментального дослідження розробленого підходу запропонована методика проведення експерименту з 8 основних етапів. Це забезпечує можливість автоматизації процесів попереднього аналізу та оцінки ефективності альтернативних варіантів розробки нових компонентів ПЗ «Розумний будинок».

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача підвищення ефективності процесів розробки та супроводу варіабельних компонентів програмного забезпечення систем «Розумний будинок» на основі використання методів доменного моделювання.

В результаті проведених експериментів були отримані дані, що дозволяють зробити висновки щодо працездатності та доцільності застосування запропонованого підходу до визначення ефективності використання альтернативних архітектурних рішень:

- для всіх експериментів з 2-ма обраними технологіями впровадження нового програмного модуля зберігається стала тенденція переваги застосування саме запропонованої технології впровадження нового програмного компоненту, що свідчить про відповідну достовірність отриманих експериментальних результатів;
- шляхом застосування запропонованого підходу є можливим забезпечити зростання значення показника супроводу за рахунок скорочення кількості необхідних кроків, та, в кінцевому рахунку, зменшення часу, необхідного на розробку.

Результати дисертаційного дослідження були також використані в навчальному процесі кафедри моделювання систем і технологій ХНУ імені В.Н. Каразіна у дисциплінах «Проектування інформаційних систем» і «Розробка та супровід проблемно-орієнтованих програмних систем».



Ключові слова: варіабельність, програмне забезпечення, доменна модель, аналіз вимог, супровід, метрика, система «Розумний будинок».

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

*Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:*

1. Tovstokorenko O. Y. Requirements Variability in Agile Software Product Line Development. / O. Y. Tovstokorenko, R. O. Gamzayev. // Proceedings of 14th International Conference ICTERI 2018, Kyiv, Ukraine. – 2018. – С. 87–95.
2. Tkachuk M. V. An approach to assessment of dynamic software variability in mobile applications development / M. V. Tkachuk, E. Karaçuha, R. O. Gamzayev, O. Y. Tovstokorenko. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». – 2018. – №40. – С. 15–24.
3. Ткачук М.В. Аналіз та експериментальне дослідження CASE - засобів для моделювання варіабельності в процесах розробки лінійок програмних продуктів / М.В. Ткачук, Р.О. Гамзаєв, О.Ю. Товстокоренко та ін.]. // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. ЦНДІ НУ. – К.. – 2020. – №1. – С. 105–110.
4. Товстокоренко О.Ю. Експериментальне дослідження ефективності застосування варіабельних проектних рішень на етапі супроводу програмного забезпечення систем «Розумний будинок» / О. Ю. Товстокоренко, Р. О. Гамзаєв, М. В. Ткачук // Вісник Національного технічного університету "ХПІ" - Харків: НТУ "ХПІ". – 2020. - № 2 (4) – с. 39-44.
5. Tkachuk M. V. Towards Effectiveness Assessment of Domain Modelling Methods and Tools in Software Product Lines Development / [M. V.

Tkachuk, R. O. Gamzayev, O. Y. Tovstokorenko та ін.]. // Enterprise Modelling and Information Systems Architectures. International Journal of Conceptual Modeling. ISSN:1866-3621. – 2018. – №13. – С. 190–206.

6. Tkachuk M. V. Case-based recommender for intelligent task assignment in software development / M. V. Tkachuk, R. O. Gamzayev, O. Y. Tovstokorenko. // Міжнародна наукова конференція MicroCAD : Секція №1 - Інформаційні та управляючі системи – НТУ “ХПІ”. – 2017. – С. 8.

7. Tovstokorenko O. H. Розробка інструментальних засобів для управління варіабельністю програмних компонентів систем «розумний дім» [Електронний ресурс] / О. Н. Товстокоренко, М. А. Sklyarenko // Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва: міжгалузеві диспути». – 2020.

8. Товстокоренко О. Ю. Доменно-орієнтована розробка адаптивних програмних рішень для систем типу "розумний дім". / О. Ю. Товстокоренко. // XIV Міжнародної науково-практичної конференції магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених». – 2020. – С. 128.

9. Товстокоренко О. Ю. Про методи розробки та критерії оцінки програмного забезпечення систем «Розумний будинок» / О. Ю. Товстокоренко, Я. О. Галюк. // Міжнародна науково-технічна конференція КМНТ. (21 - 23 квітня 2021 р.): .): Збірник наукових праць міжнародної науково-технічної конференції. – 2021. – С. 100–105.

10. Товстокоренко О. Ю. Метод опрацювання вимог в гнучких процесах розробки програмного забезпечення на основі моделі варіабельності [Електронний ресурс] / Товстокоренко О. Ю. // Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва: міжгалузеві диспути». – 22.10.2021. С. 315–321.

*Опубліковані праці апробаційного характеру:*

11. Товстокоренко О. Ю. Використання концепції лінійок програмних продуктів в контексті процесу проектування систем «Розумний дім» [Електронний ресурс] / О. Ю. Товстокоренко, М. В. Ткаченко // «Наукові підсумки 2019 року», XXXVII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція. – м. Вінниця. – 2019.

12. Гамзаєв Р. О. Застосування методів доменного моделювання для підтримки варіабельності програмного забезпечення в розробці систем «Розумний будинок» / Р. О. Гамзаєв, М. В. Ткачук, О. Т. Товстокоренко // Інформаційні системи та технології: матеріали статей 9-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Харків, 17-20 листопада 2020 року / наук. ред. А. Д. Тевяшев, Л. Б. Петришин, В. Г. Кобзєв. – ХНУРЕ. – Х.: Друкарня Мадрид, 2020

## ABSTRACT

Tovstokorenko O.Y. Models and tools for the development and maintenance of variable software components in "Smart - home" systems. – The qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for obtaining the PhD degree in specialty 122 – Computer Science. National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The PhD thesis is devoted to solving the current scientific and technical problem of improving the quality of development and maintenance of "Smart Home" systems by applying methods and tools of domain modeling to create variable software components of such systems.

The object of research is the processes of development and maintenance of "Smart Home" systems as a separate class of systems based on the concepts and technologies of the "Internet of Things" (IoT).

The subject of research - models, methods and tools for software management of software variability in the development and maintenance of "Smart Home" systems.

Research methods. To solve the tasks were used:

- principles of applied systems analysis;
- models and methods of modern software engineering, in particular on the use of domain modeling methods, object-oriented methods of software analysis and synthesis;
- quantitative metrics of software efficiency;
- mathematical apparatus of set theory;
- expert methods of decision theory;
- application of unified modeling language UML (Unified Modeling Language) and SysML (System Modeling Language).

The scientific novelty of the results achieved is as follows:

*first proposed:*

- the operational model of requirements management process taking into account the degree of their variability, which, unlike existing approaches, uses the method of latent semantic analysis to process textual description of requirements in combination with methods of domain modeling software, which reduces the size of the requirements catalog for each iteration (sprint) in the flexible process of developing software components according to the Scrum methodology;

- the architectural component models of the tool software for the implementation of the process of requirements processing using the proposed operating model, which partially automates the process of analysis of variable requirements, thereby reducing the time required to analyze requirements at each project iteration;

*improved:* the information management technology of software components of "Smart Home" systems by developing a model of variability of software and hardware resources and implementation of expert procedure for preliminary assessment of their structural complexity, which reduces the time required for further configuration and maintenance of such systems;

*received further development:* the integration methods of software and hardware resources of "Smart Home" systems through the development and use of alternative architectural models taking into account the properties of their variability, which provided an opportunity to automate the configuration of new software components of such systems.

The proposed models and technological procedures for the design and maintenance of variable software components and developed to support them software tools have been successfully used to solve these problems in the implementation of the applied initiative R&D work confirmed by the Ministry of

Education and Science of Ukraine titled "Conceptual models, methods and technologies for creating adaptive information systems based on knowledge-oriented approaches and software development tools "(the state registration number: 0121U110310) at the V.N. Karazin Kharkiv National University, and they also have been used in the development of prospective IT-projects in the Austrian-Ukrainian company "Bitmedia-Ukraine", Ltd. (Kharkov).

In the introduction to the dissertation the relevance of the research topic is substantiated, the connection of the work with scientific topics is shown. The purpose of the research is formulated, the object, subject and methods of research are defined, which are based on application of principles of applied system analysis, models and methods of modern software engineering, in particular on use of domain modeling methods, object-oriented methods of software analysis and synthesis, quantitative metrics quality of software, as well as the use of basic principles of control theory, mathematical apparatus of set theory, expert methods of decision theory and the use of unified modeling language UML (Unified Modeling Language) and modeling language SysML (System Modeling Language) for analysis of hardware and software solutions.

The scientific novelty and practical significance of the obtained results are described. Information on practical application and personal contribution of the applicant, approbation of research results and their coverage in publications are given. Information on the structure and scope of the dissertation is given.

The first section provides an analytical review of approaches to the maintenance of variable components of software systems for various purposes. The current state of software development in such new high-tech subject areas as the creation of Smart-Home systems (SHS), which in turn belong to a wider class of modern computerized systems: Internet of Things systems (Internet of Things). Internet of Things - IoT), and which are complex distributed hardware and software systems that have appropriate intelligent interfaces to support the convenient

operation of different groups of their users. A review of developments in the field of SHS-systems allowed us to conclude that there is significant progress in creating effective hardware solutions, but at the same time the issues of improving the efficiency of development and maintenance of software components by ensuring their variability and reusability in promising SHS, and this determines the relevance of this dissertation research. The statement of the problem of development and research of model-technological tools for improving the quality of processes of development and maintenance of variable components of the software of "Smart Home" systems is presented.

The second section of the dissertation presents the methodological basis for the development and maintenance of variable components of the software of "Smart Home" systems. The possibility of using domain modeling as a conceptual basis for analyzing the properties of variability of software components of "Smart Home" systems is considered and an analytical review of methods for developing variable components of software for "Smart Home" systems is performed.

The comparative analysis of CASE - tools of automation of processes of design and maintenance of software of systems "Smart house" is carried out and features of application of flexible methodology of Scrum for construction of variable software components are defined.

Based on the results of the comparative analysis, it was found that the method of domain modeling FeatureIDE has more powerful capabilities for creating models of variable properties of software. Additionally, FeatureIDE has the ability to generate product code from the source code of individual modules according to the selected product configuration.

The third section describes the process of developing models, procedures and tools for building and maintaining variable software components of Smart Home systems. The operational model (OM) of requirements processing in the context of development of variable software components according to Scrum methodology is

offered. Defined OM allows to formalize the process of requirements variability management in variable systems "Smart House", which opens the possibility of collecting information (InfBase), based on the information to analyze commonness and classification of requirements, which in turn reduces the number of requirements at the stage of sprint requirements catalog., due to which it becomes possible to improve the quality of the requirements analysis process.

The procedure of construction of the dynamic catalog of requirements for project iteration on the basis of model of their variability is offered. Depending on which category (Core, Var, New) the request will fall into, it will be processed in one way or another. In the process of analyzing information sources, a set of approaches to determining the similarity of requirements was formed, including latent semantic analysis (LSA) in combination with Pearson's correlation analysis method to determine the degree of semantic similarity of the text of different requirements.

The domain model of variable software components at the stage of support of the "Smart Home" system is proposed, and the procedure of evaluation of the quality indicator of the maintenance of the software components of the "Smart Home" systems is developed.

Architectural models of appropriate tools have been developed to provide automated support for the proposed procedures for building variable software components.

The fourth section of the dissertation is devoted to software implementation and experimental research of developed models and tools. A comparison of two variants of domain models (DM) was performed using the software maintenance quality indicator. The calculations of the proposed indicator are based on the calculation of the amount of time spent, which is necessary to maintain certain functionalities of the system at the stage of its maintenance. In the context of Smart



Home system support, this process is the configuration of new components in the existing Smart Home system. (network settings, setting operating modes, etc.).

As a result of the analysis of calculations of the criterion of support, the application of the proposed modification of the architecture of the system "Smart Home" leads to an increase in the maintenance of the system.

The architecture of the CASE toolkit is proposed - a tool for automating a number of software support processes for "Smart Home" systems. The developed tool (prototype) allows you to automatically perform calculations to determine the quantitative parameters for the coefficient of efficiency - the complexity of the domain model, taking into account changes for a new software module of systems "Smart Home". The developed domain model (in XML format) and the generated code framework are submitted to the software for analysis. The obtained analysis data are later used to select a specific architectural implementation of the new software component. Then, on the basis of the chosen architectural solution, a new software module is developed and implemented. For the experimental study of the developed approach, the method of conducting the experiment is proposed, which has 8 main stages. This provides an opportunity to automate the processes of preliminary analysis and quality assessment of alternative options for the development of new components of the software "Smart Home".

In the dissertation work the actual scientific and applied problem of quality improvement of processes of development and support of variable components of the software of systems "Smart house" on the basis of use of methods of domain modeling is solved.

As a result of the experiments, data were obtained that allow us to draw conclusions about the efficiency and appropriateness of the proposed approach to determine the effectiveness of alternative architectural solutions:

- for all experiments with 2 selected technologies of implementation of the new software module there is a constant tendency of advantage of application of the

offered technology of introduction of a new software component that testifies to the corresponding reliability of the received experimental results;

- by applying the proposed approach it is possible to increase the value of the maintenance indicator by reducing the number of necessary steps, and, ultimately, reducing the time required for development.

The results of the dissertation research were also used in the educational process of the Department of Systems and Technologies Modeling at the V.N. Karazin Kharkiv National University in the disciplines "Information systems design" and "Development and maintenance of problem-oriented software systems".

**Keywords:** variability, software, domain model, requirements analysis, maintenance, metrics, "Smart-Home" system

#### LIST OF PUBLICATIONS ON THE SUBJECT OF THE DISSERTATION

*Scientific papers, in which the main scientific results of the dissertation are published:*

1. Tovstokorenko O. Y. Requirements Variability in Agile Software Product Line Development. / O. Y. Tovstokorenko, R. O. Gamzayev. // Proceedings of 14th International Conference ICTERI 2018, Kyiv, Ukraine. – 2018. – С. 87–95.
2. Tkachuk M. V. An approach to assessment of dynamic software variability in mobile applications development / M. V. Tkachuk, E. Karaçuha, R. O. Gamzayev, O. Y. Tovstokorenko. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». – 2018. – №40. – С. 15–24.
3. Tkachuk M.V. Analiz ta eksperymental"ne doslidzhennya CASE - zasobiv dlya modelyuvannya variabelnosti v procesax rozrobky liniyok prohramnykh produktiv / M.V. Tkachuk, R.O. Hamzayev, O.Yu. Tovstokorenko ta in.]. // Systemy

upravlinnya, navihaciyi ta zv'yazku: zb. nauk. pr. CNDI NU. – K.. – 2020. – №1. – S. 105–110.

4. Tovstokorenko O.Yu. Eksperymental"ne doslidzhennya efektyvnosti zastosuvannya variabel"nyx proektnyx rishen" na etapi suprovodu prohramnoho zabezpechennya system «Rozumnyj budynok» / O. Yu. Tovstokorenko, R. O. Hamzayev, M. V. Tkachuk // Visnyk Nacional"noho texnichnoho universytetu "XPI" - Xarkiv: NTU "XPI". – 2020. - № 2 (4) – s. 39-44.

5. Tkachuk M. V. Towards Effectiveness Assessment of Domain Modelling Methods and Tools in Software Product Lines Development / [M. V. Tkachuk, R. O. Gamzayev, O. Y. Tovstokorenko та ін.]. // Enterprise Modelling and Information Systems Architectures. International Journal of Conceptual Modeling. ISSN:1866-3621. – 2018. – №13. – С. 190–206.

6. Tkachuk M. V. Case-based recommender for intelligent task assignment in software development / M. V. Tkachuk, R. O. Gamzayev, O. Y. Tovstokorenko. // Міжнародна наукова конференція MicroCAD : Секція №1 - Інформаційні та управляючі системи – НТУ "ХПІ". – 2017. – С. 8.

7. Tovstokorenko O. N. Rozrobka instrumental"nyx zasobiv dlya upravlinnya variabel"nistyu prohramnyx komponentiv system «rozumnyj dim» [Elektronnyj resurs] / O. N. Tovstokorenko, M. A. Sklyarenko // Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferenciya «Suchasni vyklyky i aktual"ni problemy nauky, osvity ta vyrobnyctva: mizhhaluzevi dysputy». – 2020. – Rezhym dostupu do resursu: [https://openscilab.org/wp-content/uploads/2020/06/suchasni-viklyki-i-aktualni-problemi-nauki-osviti-ta-virobnictva\\_2020\\_06\\_03\\_tezy.pdf](https://openscilab.org/wp-content/uploads/2020/06/suchasni-viklyki-i-aktualni-problemi-nauki-osviti-ta-virobnictva_2020_06_03_tezy.pdf).

8. Tovstokorenko O. Yu. Domenno-oriyentovana rozrobka adaptyvnyx prohramnyx rishen" dlya system typu "rozumnyj dim". / O. Yu. Tovstokorenko. // XIV Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferenciyi mahistrantiv ta aspirantiv «Teoretychni ta praktychni doslidzhennya molodyx vchenyx». – 2020. – S. 128.

9. Tovstokorenko O. Yu. Pro metody rozrobky ta kryteriyi ocinky prohramnoho zabezpechennya system «Rozumnyj budynok» / O. Yu.

Tovstokorenko, Ya. O. Halyuk. // Mizhnarodna naukovo-texnichna konferenciya KMNT. (21 - 23 kvitnya 2021 r.): .): Zbirnyk naukovykh prac" mizhnarodnoyi naukovo-texnichnoyi konferenciyi. – 2021. – S. 100–105.

10. Tovstokorenko O. Yu. Metod opracyuvannya vymoh v hnuchkyx procesax rozrobky prohramnoho zabezpechennya na osnovi modeli variabel"nosti [Elektronnyj resurs] / Tovstokorenko O. Yu. // Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferenciya «Suchasni vyklyky i aktual"ni problemy nauky, osvity ta vyrobnyctva: mizhhaluzevi dysputy». – 22.10.2021. S. 315–321.

*Published works of approbatory character:*

11. Tovstokorenko O. Yu. Vykorystannya koncepciyi liniyok prohramnyx produktiv v konteksti procesu proektuvannya system «Rozumnyj dim» [Elektronnyj resurs] / O. Yu. Tovstokorenko, M. V. Tkachenko // «Naukovi pidsumky 2019 roku», XXXVII Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferenciya. – m. Vinnycyia. – 2019.

12. Hamzayev R. O. Zastosuvannya metodiv domennoho modelyuvannya dlya pidtrymky variabel"nosti prohramnoho zabezpechennya v rozrobci system «Rozumnyj budynok» / R. O. Hamzayev, M. V. Tkachuk, O. T. Tovstokorenko // Informacijni systemy ta texnologiyi: materialy statej 9-yi Mizhnarodnoyi naukovo-texnichnoyi konferenciyi, Xarkiv, 17-20 lystopada 2020 roku / nauk. red. A. D. Tevyashev, L. B. Petryshyn, V. H. Kobzyev. – XNURE. – X.: Drukarnya Madryd, 2020

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРОБЛЕМ РОЗРОБКИ МОДЕЛЕЙ І ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК». ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	13
1.1 Актуальність проблем розробки та супроводу систем «Розумний будинок» як окремого класу систем і технологій «інтернету речей (Internet of Things - IoT)».....	13
1.2 Особливості побудови та функціонування систем IoT і «Розумний будинок» .....	18
1.3 Аналіз підходів до оцінки програмного забезпечення в розробці систем «Розумний будинок».....	22
1.4 Постановка задачі розробки та дослідження модельно-технологічного інструментарію для підвищити ефективність процесів розробки та супроводу варіабельних компонентів програмного забезпечення систем «Розумний будинок».....	33
Висновки за розділом .....	35
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ ТА СУПРОВОДУ ВАРІАБЕЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК».....	36
2.1 Доменне моделювання як концептуальна основа для аналізу властивостей варіабельності програмних компонентів систем «Розумний будинок» .....	36
2.2 Порівняльний аналіз інструментальних CASE - засобів для автоматизації процесів проектування та супроводу програмного забезпечення систем «Розумний будинок» .....	45
2.3 Особливості застосування гнучкої методології Scrum для побудови варіабельних програмних компонентів .....	50
2.4 Особливості застосування методів оцінки ПЗ в системах «Розумний будинок» .....	56
Висновки за розділом .....	61
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ, ПРОЦЕДУР ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ І СУПРОВОДУ ВАРІАБЕЛЬНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМ «РОЗУМНИЙ ДІМ».....	62

3.1 Операційна модель опрацювання вимог в контексті розробки варіабельних програмних компонентів за методологією Scrum .....	62
3.2 Процедура побудови динамічного каталогу вимог для проектної ітерації на основі моделі їх варіабельності .....	65
3.3 Доменна модель варіабельних програмних компонентів на етапі супроводу системи «Розумний будинок».....	72
3.4 Процедура оцінки показника якості супроводу програмних компонентів системи на основі доменної моделі.....	75
3.5 Архітектурні моделі інструментальних засобів для підтримки запропонованих процедур побудови варіабельних програмних компонентів .....	83
Висновки за розділом .....	90
<b>РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ.....</b>	<b>91</b>
4.1 Стек технологій для програмної реалізації інструментальних засобів .	91
4.2 Розробка вимог до програмного прототипу для запропонованого підходу .....	96
4.3 Програмно-апаратна реалізація макета.....	100
4.4 Методика, вхідні дані та результати проведення експериментів для дослідження ефективності процедури побудови динамічного каталогу вимог .....	110
4.5 Методика, вхідні дані та результати проведення експериментів для дослідження процедури оцінки критерію якості супроводу .....	116
Висновки за розділом .....	124
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>125</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>128</b>
<b>ДОДАТОК А АКТИ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ .....</b>	<b>143</b>
<b>ДОДАТОК Б МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОЦІНКИ СКЛАДНОСТІ ДЛЯ СИСТЕМ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» .....</b>	<b>147</b>
<b>ДОДАТОК В ПРИКЛАД КОДУ ОБРОБКИ КОМАНД ДЛЯ WEMOS КОМПОНЕНТУ ТА ФАЙЛ КОНФІГУРАЦІЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ БУД» .....</b>	<b>149</b>