

О. Ю. ТОВСТОКОРЕНКО, Р. О. ГАМЗАЄВ, М. В. ТКАЧУК

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВАРІАБЕЛЬНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ НА ЕТАПІ СУПРОВОДУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

У статті розглянуто поточний стан наукових публікацій за темою інтелектуалізації усіх основних процесів повного життєвого циклу (full life cycle) програмних систем (ПС), підходи для побудови варіабельних моделей для систем «Розумний дім». Проведено огляд існуючих підходів до аналізу якості побудови таких рішень. Проаналізовано Feature-Oriented Development Architecture (FODA) модель системи розумний будинок, підкреслено актуальні проблеми проектування систем розумного дому. Проаналізовано стан публікацій за тематикою оцінки якості систем типу «Розумний дім». Потім запропонований підхід експериментальної оцінки супроводжуваності системи заснований на аналізі сумарних витрат необхідних для підготовки функціоналу системи для роботи. В ході проведення експериментальних розрахунків було використано доменну модель систем «Розумний дім» в двох варіантах, з використанням інтеграційного модулю та з використання окремих пристроїв управління, окремо для кожного з виробників. Запропонований підхід для оцінки альтернативних FODA моделей заснований критерієм «maintainability». В якості даних було використано час, необхідний для конфігурування програмного забезпечення для набору окремих модулів системи, та налаштування їх як єдиної системи. Отримані дані, що дозволяють прийняти рішення про вибір архітектури побудови системи ґрунтуючись на заданій доменній моделі, що містить набір пристроїв і опису наданих ними функцій. Результати роботи повинні стати основою для розробки централізованого сховища, для накопичення, аналізу та повторного використання конфігурації як окремих підмодулів систем «Розумний дім», так і цілих систем, які відповідають певним вимогам, у результаті чого буде запропоновано комплексний підхід до підвищення якості супроводу систем «Розумний дім» на прикладі показника супроводу.

Ключові слова: розумний дім, Інтернет речей, доменна модель, варіабельність, програмне забезпечення, конфігурування.

О. Ю. ТОВСТОКОРЕНКО, Р. А. ГАМЗАЕВ, Н. В. ТКАЧУК

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВАРІАБЕЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПЕ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ «УМНЫЙ ДОМ»

В статье рассмотрено текущее состояние научных публикаций по теме интеллектуализации всех основных процессов полного жизненного цикла (full life cycle) программных систем (ПС), подходы для построения варіабельных моделей для систем «Умный дом». Проведен обзор существующих подходов к анализу качества построения таких решений. Проанализированы Feature-Oriented Development Architecture (FODA) модель системы умный дом, подчеркнуты актуальные проблемы проектирования систем умного дома. Проанализировано состояние публикаций по тематике оценки качества систем типа «Умный дом». Затем предложенный подход экспериментальной оценки сопровождаемости системы основан на анализе суммарных затрат необходимых для подготовки функционала системы для работы. В ходе проведения экспериментальных расчетов была использована доменная модель систем «Умный дом» в двух вариантах, с использованием интеграционного модуля и с использованием отдельных устройств управления, отдельно для каждого из производителей. Предложенный подход для оценки альтернативных FODA моделей основан критерии «maintainability». В качестве данных было использовано время, необходимое для настройки программного обеспечения для набора отдельных модулей системы, и настройки их как единой системы. Полученные данные, позволяющие принять решение о выборе архитектуры построения системы основываясь на заданной доменной модели, содержит набор устройств и описания предоставляемых ими функций. Результаты работы должны стать основой для разработки централизованного хранилища для накопления, анализа и повторного использования конфигурации как отдельных подмодулей систем «Умный дом», так и целостных систем, отвечающих определенным требованиям, в результате чего будет предложен комплексный подход к повышению качества сопровождения систем «Умный дом» на примере показателя сопровождаемости.

Ключевые слова: умный дом, Интернет вещей, доменная модель, варіабельность, программное обеспечение, конфигурирование.

О. У. ТОВСТОКОРЕНКО, Р. О. ГАМЗАЄВ, М. В. ТКАЧУК

AN EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECTIVENESS USAGE OF VARIABLE DESIGN SOLUTIONS BY MAINTENANCE STAGE OF SOFTWARE FOR “SMART-HOME” SYSTEMS

Article considers current state of scientific publications on topic of intellectualization of all main processes for full life cycle development of software systems, approaches to building variable models for “Smart Home” systems. A review of existing approaches to the analysis of quality of construction for such solutions. The Feature-Oriented Development Architecture (FODA) model of smart home system is analyzed, the current problems of smart home systems design are emphasized. The state of publications on topic of quality assessment of systems such as «Smart Home» is analyzed. Then, the proposed approach to experimental assessment of system maintenance is based on the analysis of the total costs required to prepare functionality of system for operation. In the course of experimental calculations, domain model of Smart Home systems was used in two variants, using an integration module and using separate control devices, separately for each of the manufacturers. The proposed approach for evaluating alternative FODA models is based on «maintainability» criterion. The time required to configure the software for a set of individual system modules and to configure them as a single system was used as data. The obtained data, allowing to make a decision on choice of construction architecture of system based on the set domain model, contains a set of devices and the description of functions provided by them. The results of the work should be the basis for the development of a centralized storage for the accumulation, analysis and reuse of the configuration of individual submodules of Smart Home systems and integrated systems that meet certain requirements, resulting in a comprehensive approach to improving the quality of Smart Home systems on the example of the traceability indicator.

Keywords: smart home, Internet of Things, domain model, variability, software, configuration.

Вступ. Протягом останнього десятиліття стає все більш актуальним питання інтелектуалізації усіх основних процесів повного життєвого циклу (full life cycle) відповідних програмних систем (ПС) [1–2]. Одним з основних переваг даного підходу до розробки

інформаційної системи є надання можливості прозорого управління всіма етапами розробки, впровадження та супроводу, за рахунок чого впроваджується певний функціонал, за рахунок якого стає можливим приймати більш ефективні рішення з точки зору як підвищення якості кінцевого продукту так і більш раціонального

витрачання фінансових коштів на розробку. Для підтримки таких процесів можуть застосовуватися наступні: доменне моделювання (domain modeling), методи підтримки варіабельності програмного забезпечення (software variability) та архітектурні моделі та технології розробки лінійок програмних продуктів (software product line) [3]. Незважаючи на широке використання перерахованих вище підходів в процесах розробки програмного забезпечення (ПЗ), залишається все ще актуальним і вимагає досліджень питання застосування подібних систем в області «Розумний дім» (“Smart-Home” systems – SHS) та Інтернет – речей (Internet of Things – IoT) [4, 5, 9–11]. Огляд науково-практичних розробок у галузі розробки SHS-систем дозволяє зробити висновок, що наразі існує досить значний прогрес у створенні високотехнологічних апаратно-програмних рішень, зокрема, з використання методів і технологій з інструментарію побудови IoT – систем і кіберфізичних систем (cyber-physical system) [6–8]. Одним з найменш проаналізованих питань в сьогодні є питання отримання кількісних оцінок ефективності процесів проектування та реалізації саме компонентів ПЗ шляхом забезпечення їх варіабельності та можливостей повторного використання лінійок програмних продуктів (ЛПП) в контексті IoT систем. Важливим питанням також є можливість отримання оцінок ефективності застосування варіабельних проектних рішень з точки зору їх впливу на трудомісткість процесів супроводу ПЗ систем «Розумний дім». Саме тому метою цього дослідження є розробка підходу до вирішення задачі оцінки ефективності застосування доменного моделювання для побудови варіабельних проектних рішень на етапі супроводу ПЗ таких систем.

Стислий огляд існуючих підходів до оцінки якості систем «Розумний дім». За даними [14] до 2021 року до IoT буде підключено приблизно 50 мільярдів пристроїв. Тому вирішальним фактором є якість функціоналу та ПЗ самих IoT пристроїв. Різні традиційні підходи до вимірювання якості програмного забезпечення потребують вдосконалення та адаптації до характеристик IoT. Стаття [14] пропонує детальний огляд моделі якості програмного забезпечення для IoT систем на основі ISO/EC25010 та атрибутів якості інформації COBIT 4.1. Авторами було виділено відображення та взаємозв'язок між характеристиками IoT та характеристиками якості програмного забезпечення на основі якості інформації. Отримані результати дослідження Johan J. та ін. планують використовувати як основу для створення контуру управління IoT системами. Одним з актуальних питань в рамках досліджень в контексті проектування IoT так само є питання аналізу і класифікації функціональних і не функціональних вимог [15]. Tainyi (Ted) Luor та ін. вперше запропонували застосувати модель Кано як теоретичну основу для формування класифікації функціональних можливостей SHS-систем, розглядаючи кожен з функцій з точки зору привабливості чи необхідності для потенційного користувача, або і те, і інше. Також, у [15] запропоновано три моделі та перевірка ставлення користувачів до трьох функціональних типів SHS-

систем. На основі моделі Кано розраховано основні результати, а саме два «Привабливі якості» (Attractive Quality) та дев'ять пунктів «Байдужа якість» (Indifferent Quality). Перевірка гіпотез також вказує на те, що функції розваг, безпеки та автоматизації суттєво корелюють зі змінними «сприймати корисне» (perceive useful) та «ставлення» (attitude). Tainyi (Ted) Luor та ін. зазначають, що міркування витрат негативно корелюють зі ставленням до розваг та автоматизації. Результати [15] показують, що постачальники SHS-систем повинні постійно досліджувати потреби користувачів у своєму продукті, тому що дана область є динамічною та постійно розвивається. З огляду на той факт, що більшість SHS-систем слід розглядати як ЛПП, з огляду на їх функціональні та архітектурні особливості [17], актуальним завданням є оцінка якості варіабельності для ЛПП. У роботі [16] представлено модельно-орієнтований (model-driven) інженерний метод та інструмент для оцінки якості конфігурацій товарної лінії шляхом перехресного аналізу архітектурного вигляду. Основним внеском цієї роботи є метамоделі, визначені для вираження сценаріїв оцінки якості, каталогів компонентів та точок чутливості всередині ЛПП та її архітектури. У [16] автори також пропонують набір способів переходу від моделі до моделі та від моделі до тексту, які можна використовувати для аналізу впливу рішення щодо конфігурації варіабельності на основі атрибутів якості в процесі конфігурації продукту. В той же час у таких роботах недостатньо опрацьованими залишаються питання отримання кількісних оцінок можливого підвищення ефективності процесів проектування та реалізації саме компонентів ПЗ шляхом забезпечення їх варіабельності та можливостей повторного використання у відповідних ЛПП, тому метою роботи є розробка підходу до вирішення задачі оцінки якості застосування доменного моделювання для побудови варіабельних проектних рішень на етапі супроводу ПЗ таких систем.

Моделювання варіабельних проектних рішень для побудови архітектури систем «розумний дім». Факт відсутності єдиного стандарту/протоколу зв'язку між пристроями та системами при розробці SHS-систем зумовлює необхідність поєднання окремих IoT – компонентів різних виробників в одну систему управління, з можливістю централізованого керування усім обладнанням [17].

Для відображення зазначеної проблеми було побудовано доменну модель (ДМ) з використанням нотації FODA [1, 2], яка наведена на рис. 1. Структура цієї моделі містить сенсори (sensor – пристрої, що збирають данні) та актуатори (actuator – пристрої, що виконують певні функції) різних виробників. Також на моделі відображено функції, які надає кожен з пристроїв. Функцію керування сенсорами та актуаторами виконує блок управління – «Hub». У [17] було виділено 2 варіанти реалізації третього рівня ДМ, перший співпадає з рис. 1 і містить Hub модулі для кожного з виробників, у другому варіанті запропоновано використати програмний модуль для управління та адаптації управління компонентами нижчих рівнів ДМ та їх функціями.

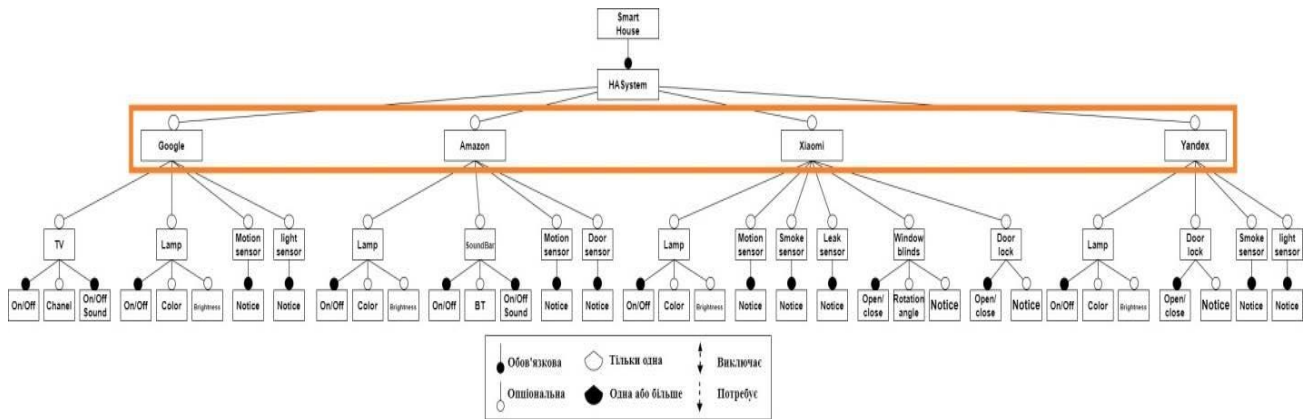


Рис. 1. ДМ SHS з пристроями різних виробників

На даний час зазначену в [17] проблему можна вирішити двома способами, перший – це використання набору окремих мобільних додатків для кожного з виробників (наведено на рис. 2). Другий (наведено на рис. 3) – використання модулю з операційною системою для управління IoT компонентами [12].

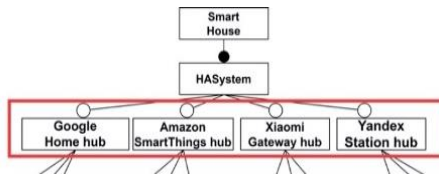


Рис. 2. Варіант 1 ДМ системи «Розумний дім». Рівень Hub для систем різних виробників [17]

При використанні варіанту архітектури системи з набором модулів Hub (рис. 2), з'являється необхідність у наступних процесах [17]:

- Налаштування зв'язку з кожним з Hub для IoTСУ.
- Окреме налаштування кожного з Hub.
- Налаштування зв'язку між Hub та певним пристроєм (сенсор/актуатор).
- Налаштування/мапінг функцій та сценаріїв для кожного пристрою (сенсор/актуатор) на рівні Hub.
- Налаштування/мапінг функцій та сценаріїв для кожного пристрою (сенсор/актуатор) на рівні системи управління IoT (IoTСУ).

• Як альтернатива пропонується використовувати уніфікований програмний модуль, який дозволить створювати, накопичувати, повторно використовувати конфігурації для інтеграції певних сенсори/актуатори та певних IoTСУ (рис. 3) [17].

Модуль пропонується розташовувати як частину системи IoTСУ. При використанні варіанту архітектури системи без набору Hub для кожного з виробників залишається необхідність у наступних процесах:

- Налаштування зв'язку між IoTСУ та певним пристроєм (сенсор/актуатор).
- Налаштування функцій та сценаріїв для кожного пристрою (сенсор/актуатор).

У [17] було наведено аналіз ефективності застосування запропонованого підходу за рахунок використання оцінки сполучної складності. Для порівняльного

аналізу зазначених архітектурних рішень пропонується використати підхід на основі оцінок часу необхідного для налаштування певного функціоналу для певної архітектури.

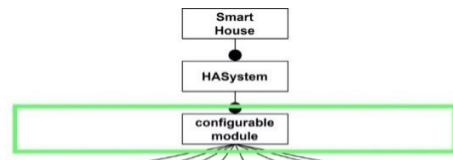


Рис. 3. Варіант 2 ДМ системи «Розумний дім» [17].

Експериментальне дослідження застосування запропонованого підходу. Для порівняння двох вищезгаданих варіантів ДМ пропонується використовувати показник супроводу програмних систем [18]. Розрахунки запропонованого показника базуються на сумі затрат, необхідних для підготовки певного функціоналу системи для роботи. В контексті IoTСУ даний процес це – налаштування компонент роботи в загальній SHS-системі (мережеві налаштування, встановлення режимів роботи, тощо). В якості затрат розглядається час, необхідний для налаштування певного функціоналу інженеру супроводу.

Таким чином, для розрахунку показника було проаналізовано етапи, наведені у попередньому пункті для двох варіантів моделі (рис. 2 та рис. 3) та складено таблицю параметрів для кожної з моделей (табл. 1).

Далі на основі зібраних даних розрахувати значення обраної метрики для кожної з моделей. Отриманий результат буде відображати приблизний загальний час, необхідний для налаштувань певного варіанту архітектури. Для оцінки якості запропонованого підходу було використано показник супроводу програмних систем [18]. В якості вхідних даних було використано доменну модель «Розумний дім» без використання запропонованого модуля та після модифікації [17]. Для розрахунку часу на налаштування системи було використано наступні формули [18]:

$$Maintainability = \frac{1}{Arch_n Conf(F)}, \quad (1)$$

де F – певний набір функцій системи;
 $Arch_n Conf(F)$ – ресурс (у розглянутій SHS – час) необхідний для підготовки певного функціоналу n ;

$$Arch_n Conf(F) = \sum_1^m Arch_n Conf(F_i), \quad (2)$$

де F_i – певна (i -та) функція системи; m – загальна кількість функцій системи.

В якості функцій системи було розглянуто найнижчий рівень ДМ (рис. 1). Для спрощення розрахунків, в якості часу для налаштувань було використано середнє значення для всіх кінцевих функцій системи, так як в даній роботі більш важливим є загальна різниця затраченого ресурсу. Таким чином, за середній час певного етапу налаштування було взято значення наведені у табл. 1. Домenna модель системи «Розумний дім» (рис. 1), представлена в попередньому пункті нараховує 16 побутових пристроїв, які в свою чергу пропонують 34 функції.

У табл. 1 усі етапи належать до процесу налаштування у випадку застосування першої архітектури, сірим кольором виділено етапи необхідні для налаштування системи, на основі архітектури за використанням запропонованого модуля.

Таким чином, час, що є необхідним для налаштування зазначеного в доменній моделі функціоналу для архітектури 1:

$$Maintainability_{Arch_1} = \frac{1}{8 + 4 + 17 + 3 + 25,5} \approx 0,0173$$

Час необхідний для налаштування функціоналу для архітектури 2:

$$Maintainability_{Arch_2} = \frac{1}{17 + 25,5} \approx 0,0235$$

Як видно з розрахунків критерію супроводу, застосування запропонованої модифікації архітектури системи «Розумний дім» веде до підвищення показника якості, а саме супроводу системи.

Висновки та подальша робота. Результатом проведеного аналізу сучасних науково-практичних розробок у галузі створення SHS-систем було виявлено, що недостатньо опрацьованими залишаються питання оцінок якості моделей в домені IoT систем. В роботі було розглянуто архітектуру системи типу «Розумний дім»,

підкреслено проблеми, існуючі в процесах проектування подібних систем, запропоновано підхід для оцінки якості доменної моделі, на основі показника супроводу. В подальших роботах планується розробка централізованого сховища для накопичення певних налаштувань, що з часом дозволить повторне використання конфігурацій, в результаті чого показник супроводу планується підвищити більше, та запропонувати більш детальні підходи до аналізу якості зазначених моделей.

Список літератури

- Berger Th., Chechik M., Kehler T. Software Evolution in Time and Space: Unifying Version and Variability Management. *Dagstuhl Seminar Reports*. 2019. Vol. 9, issue 5. P. 1–31.
- Steinberger M., Reinhartz-Berger I., Tomer A. Cross Lifecycle Variability Analysis: Utilizing Requirements and Testing Artifacts. *Journal of Systems and Software*. 2018. Vol. 143. P. 208–230.
- Gamzayev R. O., Karaçuha E., Tkachuk M. V., Tovstokorenko O. Y. An Approach to Assessment of Dynamic Software Variability in Mobile Applications Development. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна*. Харків, 2018. № 40. С. 14–25.
- Mazzara M., Afanasyev I., Sarangi S. R., Distefano S., Kumar V., Ahmad M. A Reference Architecture for Smart and Software-Defined Buildings. *IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP 2019)*. Washington DC, USA. IEEE Publ., 2019. P. 167–172. DOI: 10.1109/SMARTCOMP.2019.00048.
- Pandit D., Pattanaik S. Software Engineering Oriented Approach to Iot-Applications: Need of the Day. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol. 7, issue 6. P. 886–895.
- Rawat, D. B., Rodrigues J. J., Stojmenovic I. *Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2015. 588 p.
- Tao F., Qi Q., Wang L., Nee A. Y. C. Digital Twins and Cyber-Physical Systems: Toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. *Engineering*. 2019. Vol. 5, issue 4. P. 653–661.
- Береговський В. В. Математичне та програмне забезпечення автоматизованого проектування систем «Інтелектуального Будинку»: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец.: 05.13.12 «Системи автоматизації проектувальних робіт». Львів, 2017. 23 с.
- Sosa-Reyna C. M., Tello-Leal E., Lara-Alabazares D., Mata-Torres J. A., Lopez-Garza E. Methodology Based on Model-Driven Engineering for IoT Application Development. *Proceeding of the Twelfth International Conference on Digital Society and eGovernments (ICDS 2018)*, March 25-29. Rome, 2018. P. 36–41.

Таблиця 1 – Параметри процесу налаштування системи «Розумний дім»

Етапи налаштування IoTСУ	Необхідний ресурс (людино-години)	Рівень налаштувань відносно доменної моделі	Кількість елементів в системі	Час, необхідний для налаштування системи для приведеної доменної моделі (людино-години)
Налаштування зв'язку з кожним з хабів для IoTСУ	2,00	Hub	4	8,0
Окреме налаштування кожного з Hub	0,25	Hub – сенсорів/актуаторів	16	4,0
Налаштування зв'язку між Hub та пристроєм (сенсор/актуатор)	0,50	Hub – сенсорів/актуаторів	34	17,0
Налаштування/мапінг функцій та сценаріїв для кожного пристрою (сенсор/актуатор) на рівні хабів	0,75	Hub – IoTСУ	4	3,0
Налаштування/мапінг функцій та сценаріїв для кожного пристрою (сенсор/актуатор) на рівні IoTСУ	0,75	IoTСУ – сенсорів/актуаторів	34	25,5

10. Huber R. X. R., Püeschel L. C., Röglinger M. Capturing smart service systems: Development of a domain-specific modelling language. *Information Systems Journal*. 2019. Vol. 29, issue 6. P. 1207–1255.
11. Tzeremes V., Hassan G. A Software Product Line Approach to Designing End User Applications for the Internet of Things. *Proceedings of the 13th International Conference on Software Technologies (ICSOFT 2018)*. Porto, 2018. P. 656–663.
12. Ткаченко М. В., Товстокоренко О. Ю. Використання концепції лінійок програмних продуктів в контексті процесу проектування систем «Розумний дім». *Наукові підсумки 2019 року. XXXVII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція. Місто Вінниця. 09 грудня 2019 року. Ч. 14*. Вінниця, 2019. С. 84.
13. Пархоменко А., Туленков А., Соколянський О., Гладкова О., Залобовський Я. Дослідження та розробка методу веб-орієнтованого прототипування при проектуванні смарт систем. *Вісник Східноукраїнського Національного Університету імені Володимира Дала*. 2018. № 6 (247). С. 101–109.
14. Tambotoh J.J.C., Isa S. M., Gaol F. L., Soewito B., Warnars H.L.H.S. Software quality model for Internet of Things governance. *Proceedings of 2016 International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE)*. Denpasar, Bali, Indonesia, 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/ICoDSE.2016.7936138.
15. Luor T., Lu H.-P., Yu H., Lu Y. Exploring the Critical Quality Attributes and Models of Smart Homes. *Maturitas*. 2015. Vol. 82, issue 4. P. 377–386. DOI: 10.1016/j.maturitas.2015.07.025.
16. Guana V., Dario C. Variability quality evaluation on component-based software product lines. *ACM International Conference Proceeding Series. Software Product Lines – 15th International Conference. SPLC 2011, Munich, Germany, August 22–26, 2011*. New York, Association for Computing Machinery, 2011. Vol. 2, article no. 19. P. 1–8. DOI: 10.1145/2019136.2019191.
17. Гамзаєв Р. О., Ткачук М. В., Товстокоренко О. Т. Застосування методів доменного моделювання для підтримки варіабельності програмного забезпечення в розробці систем «Розумний будинок». Інформаційні системи та технології. ICT-2020. Матеріали 9-ї Міжнародної науково-технічної конференції 17.11. 2020 р. Коблеве-Харків, Україна (у друку).
18. Cheaito R., Frappier M., Matwin S., Mili A., Crabtree D. *Defining and Measuring Maintainability. Technical Report*. Ottawa: Dept. of Computer Science, University of Ottawa, 1995. 12 p.
- Correlation and Comparison. *Engineering*. 2019, vol. 5, issue 4, pp. 653–661.
8. Berehovskiy V. V. Matematychnе та програмне забезпечення автоматизованого проєктування систем "Інтелектуального Будинку": автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.12 "Systemy avtomatyzaciyi proektivnykh robot" [Mathematical and software for automated design of "Smart Home" systems. Abstract of a thesis cand. eng. sci. diss. 05.13.12 "Systems of Automation of Design Works"]. Lviv, 2017. 23 p.
9. Sosa-Reyna C. M., Tello-Leal E., Lara-Alabazares D., Mata-Torres J. A., Lopez-Garza E. Methodology Based on Model-Driven Engineering for IoT Application Development. *Proceeding of the Twelfth International Conference on Digital Society and eGovernments (ICDS 2018), March 25–29, Rome, 2018*, pp. 36–41.
10. Huber R. X. R., Püeschel L. C., Röglinger M. Capturing smart service systems: Development of a domain-specific modelling language. *Information Systems Journal*. 2019, vol. 29, issue 6, pp. 1207–1255
11. Tzeremes V., Hassan G. A Software Product Line Approach to Designing End User Applications for the Internet of Things. *Proceedings of the 13th International Conference on Software Technologies (ICSOFT 2018)*. Porto, 2018, pp. 656–663.
12. Tkachenko M. V., Tovstokorenko O. Yu. Vykorystannya koncepciyi liniyok programnykh produktiv v konteksti procesu proyektuvannya system «Rozumnyj dim» [Using the concept of software lines in the context of the design process of «Smart Home» systems]. *Naukovi pidsumky 2019 roku. XXXVII Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferenciya. Misto Vinnytsya. 09 hrudnya 2019 roku. Ch. 14* [Scientific results of 2019. XXXVII International scientific-practical Internet conference. City Vinnytsa. 09 December 2019. Part 14]. Vinnytsa, p. 84.
13. Parhomenko A., Tulenkov A., Sokolyans'kij O., Gladkova O., Zalyubovs'kij Ya. Doslidzhennya ta rozrobka metodu web-oriyentovanoho prototypuvannya pry proektuvanni smart system [Research and development of web-oriented prototyping method in the design of smart systems]. *Visnik Shhidnoukraïns'kogo Nacional'nogo Universitetu imeni Volodymyra Dalya* [Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University]. 2018, no. 6 (247), pp. 101–109.
14. Tambotoh J.J.C., Isa S. M., Gaol F. L., Soewito B., Warnars H.L.H.S.. Software quality model for Internet of Things governance. *Proceedings of 2016 International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE)*. Denpasar, Bali, Indonesia, 2016, pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICoDSE.2016.7936138.
15. Luor T., Lu H.-P., Yu H., Lu Y. Exploring the Critical Quality Attributes and Models of Smart Homes. *Maturitas*. 2015, vol. 82, issue 4, pp. 377–386. DOI: 10.1016/j.maturitas.2015.07.025.
16. Guana V., Dario C. Variability quality evaluation on component-based software product lines. *ACM International Conference Proceeding Series. Software Product Lines – 15th International Conference. SPLC 2011, Munich, Germany, August 22–26, 2011*. New York, Association for Computing Machinery Publ., 2011, vol. 2, article no. 19, pp. 1–8. DOI: 10.1145/2019136.2019191.
17. Hamzayev R. O., Tkachuk M. V., Tovstokorenko O. T. Zastosuvannya Metodiv Domennoho Modelyuvannya dlya Pidtrymky Variabelnosti Programnoho Zabezpechennya v Rozrobci System «Rozumnyj Budynok» [Application of Domain Modeling Methods to Support Software Variability in Smart Home Systems Development]. *IST-2020. Materiali 9-ji Mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferencii 17.11.2020 r. Kobleve-Harkiv, Ukraïna* [IST-2020. Proceedings of the 9th International Scientific and Technical Conference 17.11.2020. Kobleve-Kharkiv, Ukraine]. In print.
18. Cheaito R., Frappier M., Matwin S., Mili A., Crabtree D. *Defining and Measuring Maintainability. Technical Report*. Ottawa: Dept. of Computer Science, University of Ottawa Publ., 1995. 12 p.

Hadziusha (received) 10.11.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Товстокоренко Олег Юрійович – аспірант кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61022; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2664-1650>; e-mail: tovstokorenko@gmail.com.

Гамзаєв Рустам Олександрович – кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри моделювання систем і технологій, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, Харків, Україна, 61022; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2713-5664>; e-mail: rustam.gamzayev@gmail.com.

Ткачук Микола Вячеславович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри моделювання систем і технологій, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, Харків, Україна, 61022; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0852-1081>; e-mail: mykola.tkachuk@karazin.ua.

Товстокоренко Олег Юрьевич – аспірант кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ул. Кирпичева, 2, Харків, Україна, 61022; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2664-1650>; e-mail: tovstokorenko@gmail.com.

Гамзаєв Рустам Олександрович – кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри моделювання систем і технологій, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, площа Свободи, 4, Харків, Україна, 61022; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2713-5664>; e-mail: rustam.gamzayev@gmail.com.

Ткачук Микола Вячеславович – доктор технічних наук, професор завідувач кафедри моделювання систем і технологій, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, площа Свободи, 4, Харків, Україна, 61022; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0852-1081>; e-mail: mykola.tkachuk@karazin.ua.

Tovstokorenko Oleh Yurievich – PhD student of the Department of Software Engineering and Information Technology Management, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», st. Kirpychova, 2, Kharkiv, Ukraine, 61022; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2664-1650>; e-mail: tovstokorenko@gmail.com.

Gamzayev Rustam Olexandrovich – PhD, associate professor; Associate Professor of Modeling Systems and Technologies, Kharkiv National University named after VN Karazina, Maidan Svobody, 4, Kharkiv, Ukraine, 61022; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2713-5664>; e-mail: rustam.gamzayev@gmail.com.

Tkachuk Mykola Vyacheslavovich – doctor of technical sciences, professor; Head of the Department of Modeling of Systems and Technologies, VN Kharkiv National University Karazina, Maidan Svobody, 4, Kharkiv, Ukraine, 61022; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0852-1081>; e-mail: mykola.tkachuk@karazin.ua.

УДК 004.89:510.635

DOI: 10.20998/2079-0023.2020.02.08

Y. R. SELIVORSTOVA, I. V. LIUTENKO, S. V. OREKHOV

FRAMEWORKS ANALYSIS AND EVALUATION USED IN THE WEB-APPLICATION DEVELOPMENT

This article presents the approaches used to analyze and evaluate modern frameworks that are used in the development of web applications. The analysis and evaluation of frameworks allow you to choose the framework that can be most efficaciously used for each specific case of software development. The popularity of using frameworks in the development of web applications is due to a significant reduction in the time and other resources spent on project execution. The article describes the concept of a framework as a technology for developing web applications and the classification of frameworks. Five main types of frameworks are briefly described. Criteria for the rationality of using frameworks for developing a web application are considered. The advantages and disadvantages of using them when creating web-oriented software are given. When evaluating web applications according to COCOMO model, software options were considered with the use of frameworks in development, and without the use of frameworks. This article provides an overview of the families of modern Back-End frameworks. A comparison of the functionality of the Back-End frameworks of six manufacturers for commercial software solutions is carried out. The choice of criteria for assessing the quality of frameworks is examined. As a basis, when choosing quality criteria, it is proposed to use the ISO 25010 standard. The coefficients of importance for the evaluation criteria, the values of which were obtained with the help of experts, are given. When forming the final assessment of the frameworks, such characteristics as functional suitability, security of working with data, modifiability, interface quality, interaction with payment systems, and integration with JIRA, compatibility, productivity were mentioned. General quality scores were obtained for all the frameworks under consideration. Assessing the quality of frameworks allows you to improve the process of developing a web-oriented software product, the purpose of which is to obtain a web application of a given quality.

Keywords: software, framework, Back-End, web applications, quality assessment, assessment criteria.

Ю. Р. СЕЛІВЬОРСТОВА, І. В. ЛЮТЕНКО, С. В. ОРЄХОВ

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ФРЕЙМВОРКІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ WEB-ДОДАТКІВ

У даній статті представлені підходи, які використовуються для аналізу та оцінки сучасних фреймворків, які використовуються при розробці веб-додатків. Аналіз і оцінка фреймворків дозволяє обрати фреймворк, який найбільш ефективно може бути використаний для кожного конкретного випадку розробки програмного забезпечення. Популярність використання фреймворків при розробці веб-додатків обумовлена істотним зменшенням витрат тимчасових і інших ресурсів на виконання проекту. У статті наведено поняття фреймворку, як технології розробки веб-додатків і класифікація фреймворків. Коротко охарактеризовані п'ять основних типів фреймворків. Розглядаються критерії раціональності використання фреймворків для розробки веб-додатки. Наводяться переваги і недоліки використання їх при створенні веб-

© Y. R. Selivorstova, I. V. Liutenko, 2020