

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



Гладкова Ольга Миколаївна

УДК 004.896: 621.3.049.779

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ
ЗАСОБАМИ ВІДДАЛЕНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

05.13.12 – Системи автоматизації проектувальних робіт

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Запорізькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Пархоменко Анжеліка Володимирівна,
Запорізький національний технічний університет,
доцент кафедри програмних засобів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лобур Михайло Васильович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри систем автоматизованого проектування

кандидат технічних наук, доцент
Ларченко Ліна Вікторівна,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
доцент кафедри автоматизації проектування
обчислювальної техніки

Захист дисертації відбудеться 7 грудня 2018 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, 226 ауд. головного корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розіслано «06» листопада 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор



Р.А. Бунь

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Світовий ринок вбудованих систем (ВС) постійно зростає. З кожним роком ВС стають дедалі складнішими, а вимоги до забезпечення якості та скорочення термінів виходу на ринок – більш жорсткими. В цій роботі досліджується одна з категорій ВС управління рухомими об'єктами (ВС УРО), а саме система управління наземними колісними рухомими об'єктами. Наразі такі системи використовуються у різних галузях економіки (промисловість, транспорт, оборонна галузь, сільське господарство та сфера розваг), тому автоматизація їх проектування є актуальною.

При автоматизованому проектуванні (АП) ВС УРО необхідно враховувати наявність апаратної та програмної частин системи, а також велику кількість обмежень і вимог щодо розмірів, споживання енергії, завадостійкості та ін. Визначення, аналіз і формування вимог до програмних і апаратних компонентів ВС на етапі високорівневого (системний рівень) проектування є важливим фактором успішної реалізації ВС. На сьогодні існують стандарти (ГОСТ 34.602-89, ГОСТ Р 41904-2002, ISO 15288, ISO 12207, IEEE 830, IEEE1233), в яких наведено узагальнений перелік вимог до створюваної системи в цілому та, зокрема, до програмного забезпечення (ПЗ), призначення вимог та види діяльності по роботі з ними. Вагомий внесок у розвиток теорії та практики інженерії вимог до програмного забезпечення зробили: Wiegers K. – запропонував схему класифікації вимог, ітеративний процес та прийом формування вимог, розробив модель умовних ваг; Leffingwell D. – розробив трирівневу модель подання вимог та підхід до виявлення системних обмежень; Cockburn A. – запропонував концепцію створення варіантів використання проектованої системи. Результати цих досліджень можуть використовуватись в якості основи для розробки моделі формування вимог для ВС з урахуванням їх специфічних особливостей. При цьому вимоги до апаратного забезпечення (АЗ), як важливої складової ВС, також мають бути враховані.

Сучасні підходи до проектування ВС, такі як паралельне проектування, об'єктно-орієнтоване проектування, платформно-орієнтоване проектування та методологія повторного використання покликані розв'язати деякі проблеми традиційного підходу до проектування. Вагомий внесок у розвиток теорії та практики розробки ВС зробили такі вчені: Smith C.U. – розробив підхід до паралельного проектування; Wolf W. – відокремив у проектуванні ВС етап розподілу та запропонував схему розподілу складових ВС; Lee E.A. – розробив систему Ptolemy для паралельної симуляції та швидкого прототипування; Sangiovanni-Vincentelli A. – узагальнив та формалізував платформно-орієнтований підхід до проектування ВС; Teich J. – розробив модель подвійного «даху» паралельного проектування; Лобур М.В. – запропонував алгоритм проектування та виготовлення ВС, який враховує специфіку цих пристроїв; Биковський С.В., Платунов А.Е. – узагальнили існуючі підходи та особливості проектування ВС, та інші. Однак, існуючі в цій галузі проблеми вимагають розвитку відомих та впровадження нових методів і засобів АП.

З метою реалізації платформно-орієнтованого підходу до проектування, виробники (Intel, Arduino, Raspberry, Texas Instrument, STMicrocontroller та ін.) пропонують величезну кількість різноманітних апаратно-програмних платформ та компонентів, що відрізняються функціональністю та вартістю і дають змогу

прискорити створення проекту. Але час, що витрачається проектувальником на пошук та вибір апаратно-програмних платформ, які найкращим чином відповідають вимогам проекту, постійно збільшується через необхідність аналізу величезної кількості пропонувананих он-лайн ринком варіантів.

Одним з рішень є використання рекомендаційних систем (РС), які дадуть змогу швидко та правильно обрати готову апаратно-програмну платформу в залежності від вимог до проекту. Виробники електронних компонентів, такі як Texas Instrument та STMicrocontrollers пропонують деякі рекомендації, але, при цьому, концентруються на власній продукції (з метою її просування) та допомагають обрати додаткові можливості для розширення функціоналу лише своєї базової платформи.

Питанням дослідження та розвитку методів побудови РС присвячені роботи F. Ricci, B. Shapira, R. Burke, J.K. Tarus, Ю.В. Стеха, К.В. Воронцова, Е.Е. П'ятикопа та інших. У залежності від даних, з якими працює РС, використовуються різні рекомендаційні методи: колаборативна фільтрація, контентна фільтрація, фільтрація на основі знань, гібридна. Дослідження свідчать, що з нагальною потребою користувача працюють методи, які відносяться до фільтрації на основі знань. Тому, розробка РС формування рекомендацій щодо апаратно-програмних платформ на основі бази знань (БЗ) є актуальною задачею.

Крім того, для остаточного вибору апаратно-програмних платформ, окрім технічної специфікації, що надається виробником на сайті, потрібні експериментальні дослідження та досвід роботи з певним рішенням. Саме тому, сьогодні активно використовуються різноманітні технології та засоби віддаленої інженерії (он-лайн симулятори, віддалені лабораторії, хмарні сервіси та ін.), які надають додаткові функціональні можливості користувачам десктопних систем автоматизованого проектування (САПР).

Віддалені лабораторії (ВЛ) є перспективною технологією, що активно розвивається. Вони дають можливість спільно використовувати обладнання та програмне забезпечення без необхідності його придбання, налагодження та встановлення безпосередньо на робочому місці, що надає переваги в умовах фінансово-економічних обмежень. Найбільш відомими ВЛ в галузі електроніки та автоматики є: GOLDI, WebLab-Deusto, Labshare, e-Laboratory Project, iLabs. В основному, ВЛ сьогодні використовуються як суто освітні ресурси, але розробка та використання віддаленого інструментарію для дослідницьких та виробничих цілей наразі є актуальними.

Таким чином, розробка програмних та технічних засобів віддаленої інженерії (ВІ), які дадуть змогу проектувальнику, використовуючи РС, обрати апаратно-програмну платформу згідно з вимогами до проектованої ВС УРО, а також виконати прототипування проектованої системи на основі віддаленого експерименту, є актуальним завданням та визначає напрям дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження виконувалися відповідно до наукового напрямку кафедри «Програмні засоби» Запорізького національного технічного університету: «Дослідження особливостей розробки та використання дистанційно керованих систем». Дисертація виконана в межах науково-дослідних робіт: «Інтелектуальні методи діагностування систем керування віддаленими технічними об'єктами» (номер

державної реєстрації 0115U002242); «Інформаційна система діагностування розподілених мінікомп'ютерних систем в багатокомпонентному зовнішньому середовищі» (номер державної реєстрації 0117U000615).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка моделей, методів та інструментальних засобів віддаленої інженерії для підвищення ефективності автоматизованого проектування вбудованих систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно було розв'язати наступні завдання:

- проаналізувати методи, моделі, підходи та засоби АП ВС з урахуванням їх структурних та функціональних особливостей, а також технологій реалізації;
- розробити метод АП ВС на основі технологій ВІ;
- розробити модель формування вимог до ВС та метод роботи з вимогами при АП;
- розробити метод формування рекомендацій щодо апаратно-програмних платформ при АП ВС;
- реалізувати програмне, технічне та інформаційне забезпечення для АП ВС на основі розроблених методів та моделей;
- розробити методіку впровадження засобів ВІ в процес АП ВС.

Об'єктом дослідження є АП ВС на основі технологій ВІ.

Предмет дослідження – моделі, методи та інструментальні засоби ВІ для АП ВС УРО.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі для розв'язання поставлених завдань використано: при розробленні методів, моделей та алгоритмів – теорія системного аналізу, теорія математичного моделювання, теорія багатокритеріального аналізу, теорія баз знань; при розробленні програмних засобів – принципи об'єктно-орієнтованого програмування та веб-орієнтованої розробки.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

1. Вперше розроблено метод АП ВС з використанням технологій ВІ, що дає змогу організувати спільне використання обладнання та програмного забезпечення (без необхідності їх придбання та налаштування) для прототипування проекрованої ВС та, таким чином, знизити собівартість проекрованої продукції.

2. Отримав подальший розвиток метод паралельного проектування ВС, який відрізняється від існуючого спільним застосуванням паралельного та платформно-орієнтованого підходів, а також засобів ВІ, що дає змогу зменшити час переходу між системним та функціонально-логічним рівнями при проектуванні ВС та підвищити рівень автоматизації проектувальних робіт шляхом автоматизованого вибору апаратно-програмної платформи.

3. Удосконалено модель формування вимог до ВС та метод роботи з ними, які, на відміну від існуючих, враховують структурні особливості ВС, що містять апаратну та програмну складові, дають змогу розподіляти вимоги між програмними та апаратними компонентами ВС при АП та, таким чином, повніше враховувати вимоги до ВС та виконувати необхідні процеси роботи з вимогами при АП.

4. Отримав подальший розвиток метод формування рекомендацій щодо апаратно-програмних платформ при АП ВС на основі знань, який, на відміну від існуючого, використовує методи обмежень та подібних об'єктів, а також методи багатокритеріального аналізу, що дає змогу надавати рекомендації навіть при суперечливості вимог користувача.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що:

1. Розроблено структуру програмно-технічного комплексу (ПТК), що включає інструментарій ВІ, використання якого дає змогу підвищити ефективність процесу АП ВС за рахунок зменшення часу проектування та собівартості проектованої продукції, а також підвищення рівня автоматизації проектувальних робіт.

2. Розроблено програмне та інформаційне забезпечення РС, яка надає підтримку проектувальнику у вигляді рекомендацій щодо використання апаратно-програмних платформ при АП ВС, виходячи з вимог до проектованої ВС.

3. Розроблено програмне та технічне забезпечення ВЛ, яка дає змогу виконувати швидке прототипування проектованої ВС, перевірку на сумісність і працездатність апаратної та програмної частин, тим самим зменшувати час реалізації проекту.

4. Розроблено методику застосування створеного ПТК при АП ВС, яка може використовуватись у практиці інженерного проектування для ефективного впровадження засобів ВІ.

Розроблений ПТК АП ВС на основі створених методів та моделей ВІ впроваджено в процес АП систем керування об'єктами спецпризначення НВП ХАРТРОН-ЮКОМ (Запоріжжя), що підтверджено відповідним актом. Розроблену РС вибору апаратно-програмних платформ на основі моделі формування вимог та методу роботи з ними впроваджено в практику інженерного проектування ВС керування комплексом електротехнічного обладнання ПКФ МОТОР (Запоріжжя). Також, результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі Запорізького національного технічного університету для дисциплін «Інженерія вбудованих систем», «Сучасні CAD/CAM/CAE системи в проектуванні та виробництві наукоємної продукції», «Технології та системи віртуальної та віддаленої інженерії».

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати досліджень, які викладені в дисертації – одержані здобувачем особисто. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору дисертації належать: [20,22] – обґрунтовано спільне використання паралельного та платформно-орієнтованого проектування для розробки ВС; [1,21] – розроблено модель формування вимог до ВС та метод роботи з ними, з урахуванням апаратно-програмних особливостей ВС; [6,16-18] – обґрунтовано використання технологій ВІ для дослідження та прототипування ВС, а також методології повторного використання апаратних і програмних рішень; [5, 19] – розроблено метод паралельного проектування ВС зі спільним використанням платформно-орієнтованого підходу, методології повторного використання та засобів ВІ, а також метод АП ВС з використанням технологій ВІ; [4,13,14] – запропоновано впровадження методології повторного використання при АП ВС з використанням технологій ВІ; [2] – розроблено метод формування рекомендацій щодо апаратно-програмних платформ при АП ВС; [8] – розроблено ВЛ для швидкого прототипування ВС; [3,7,9-12] – результати синтезу та аналізу технічних розв'язань для ВС УРО на основі використання розроблених програмних та технічних засобів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертації доповідались і обговорювались на міжнародних конференціях: «Data acquisition and advanced computing systems: technology and applications» (Бухарест, Румунія, 2017), «Remote engineering and virtual instrumentation» (Порто, Португалія,

2014; Мадрид, Іспанія, 2016); «Перспективні технології і методи проектування MEMC» (Львів-Поляна, 2013, 2015, 2016); «Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці» (Львів-Поляна, 2013); міжнародних науково-практичних конференціях: «Інтернет-Освіта-Наука» (Вінниця, 2014); «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (Запоріжжя, 2012, 2014); міжнародних симпозиумів: «Embedded systems and trends in teaching engineering» (Нітра, Словаччина, 2016), «Ambient intelligence and embedded systems» (Вааса, Фінляндія, 2017); науково-практичній конференції «Тиждень науки ЗНТУ» (Запоріжжя, 2016).

Публікації. Результати дисертації опубліковано у 22 наукових працях (з них 6 статей – 3 у наукових фахових виданнях України, включених до переліку МОН України; 3 – у наукових періодичних виданнях інших держав, що включені до наукометричних баз знань); 1 патент на корисну модель, 2 свідоцтва України про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму); 13 праць у матеріалах міжнародних наукових конференцій та симпозиумів (з них 5 – за кордоном); 6 праць індексуються в науко-метричній базі Scopus (індекс цитування $h=3$).

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 114 найменувань та додатків. Робота викладена на 155 сторінках, з яких основного тексту – 124 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні завдання дослідження, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Показано зв'язок роботи з науковими темами. Наведено дані про апробацію результатів роботи, особистий внесок автора та його публікації.

У **першому** розділі проведено аналіз конструктивних та функціональних особливостей ВС та наведено їх класифікацію за галузями застосування та середовищем використання. Показано, що однією зі складних, з точки зору автоматизації проектування, категорій ВС є системи управління різними типами рухомих об'єктів, які надають доступ людині до небезпечних та важкодоступних місць. Сформовано основні вимоги та обмеження до ВС УРО (робота у реальному часі; забезпечення міцності конструкції, радіаційної та електромагнітної стійкості; мінімізація енергоспоживання, власних габаритів і ваги та ін.), а також додаткові вимоги (управління групою рухомих об'єктів, створення ефекту присутності користувача всередині рухомого об'єкту та ін.).

Дослідження існуючих методів проектування ВС показало, що розробка ВС «з нуля» з використанням традиційного підходу до проектування не є ефективною, оскільки ВС стають дедалі складнішими, а ринкова конкуренція вимагає створення таких систем за короткий час. Саме тому, в області проектування ВС активно розвиваються такі підходи до проектування, як паралельне проектування та платформно-орієнтоване. Стає все більш необхідним при проектуванні використовувати готові апаратні та програмні рішення, а також нові засоби автоматизації проектування, що дадуть змогу прискорити процес проектування і, таким чином, скоротити час виходу продукції на ринок.

Показано, що сьогодні на різних етапах проектування ВС використовуються

різноманітні системи АП для розв'язування задач системного, функціонально-логічного, схематичного та конструкторського проектування, а також для моделювання електричних, теплових, механічних та інших процесів. У той же час, швидкий розвиток Інтернет-технологій та їх зростаюча популярність справили величезний вплив на галузь проектування, тому поряд з десктопними системами доцільно використовувати технології ВІ.

ВІ, що розвиваються сьогодні у всьому світі, є засобами ВІ, що надають доступ до віртуальних і дистанційно керованих пристроїв, а також до вивчення різних технологій проектування. Таким чином, вони дають змогу ефективно організувати спільне використання різноманітного ПЗ та інженерного обладнання з урахуванням фінансово-економічних обмежень. Проблема полягає у тому, що більшість існуючих ВІ є суто освітніми ресурсами. Для проектних і виробничих цілей ці лабораторії потребують подальшого розвитку. Тому, задача впровадження ВІ у процес проектування ВС з метою прискорення розробки та спільного використання обладнання залишається актуальною.

З іншого боку, он-лайн ринок пропонує велику кількість апаратно-програмних платформ від різноманітних виробників, але інформація про них у мережі є неупорядкованою, що ускладнює роботу з цими даними. Саме тому, РС можуть використовуватись для пошуку існуючих проектних рішень, а також вибору готових апаратно-програмних платформ. Аналіз показав, що виробники електронних компонентів (напр., Texas Instruments та Microchip) пропонують деякі рекомендації, але при цьому концентруються тільки на власній продукції, або на додаткових модулях для розширення функціональних можливостей базової платформи, що не стане у пригоді проектувальнику при виборі саме базових платформ. Українські сайти з продажу електронних компонентів лише групують електронні компоненти за назвами або за призначенням, тобто лише упорядковують інформацію, що безумовно спрощує її пошук, але не надають рекомендацій щодо вибору. Тому, розробка РС, яка б підтримувала розробника на етапі вибору апаратно-програмної платформи, є доцільною.

Таким чином, розвиток існуючих підходів до проектування ВС, розробка та впровадження засобів ВІ (а саме, ВІ та РС) при АП ВС дасть змогу розширити функціональні можливості існуючих десктопних програмних систем, організувати спільне використання обладнання та програмного забезпечення, підвищити рівень автоматизації проектувальних робіт, та, таким чином, прискорити процес проектування ВС та знизити собівартість проектованої продукції.

У **другому** розділі удосконалено модель формування вимог до ВС, структурне представлення якої наведено на рис. 1. Ця модель, як і моделі вимог Вігерса і Леффінгвелла, має 3 рівні, проте на відміну від відомих, враховує специфіку ВС як сукупність апаратних і програмних компонентів та враховує розподіл вимог між ними. У формальному вигляді таку модель можна представити як $S = \{R, L, C\}$, де $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ – множина вимог, $L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ – множина рівнів вимог, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ – множина зв'язків між вимогами.

Для розробленої моделі формування вимог представлено удосконалений метод роботи з вимогами для ВС, який враховує структурні особливості ВС, що об'єднує програмну та апаратну частини. Метод дає змогу розв'язати задачу визначення, аналізу і формування вимог до програмних і апаратних компонентів ВС на етапі високорівневого проектування. Застосування удосконаленого методу

роботи з вимогами дасть змогу підвищити ефективність виконання необхідних процесів роботи з вимогами, а саме, визначення, аналіз і формування вимог до програмних і апаратних компонентів ВС при АП.

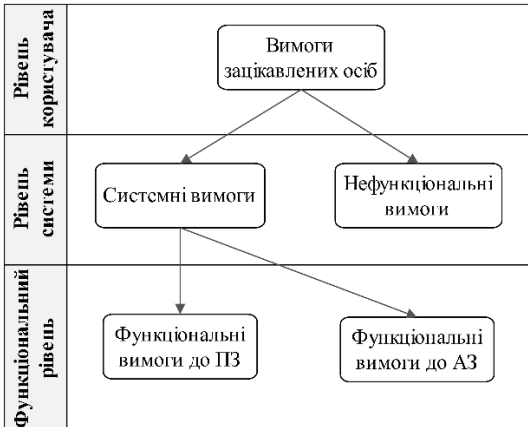


Рис. 1. Структура моделі формування вимог до ВС

програмних платформ; виконувати вибір апаратно-програмних рішень; виконувати розробку та верифікацію ПЗ; виконувати інтеграцію апаратного та програмного забезпечення ВС; виконувати дослідження прототипу проєктованої системи; спостерігати проведення експерименту на реальному обладнанні. Це дає змогу зменшити час переходу між системним та функціонально-логічним рівнями при проєктуванні ВС та підвищити рівень автоматизації проєктувальних робіт шляхом автоматизованого вибору апаратно-програмної платформи.



Рис. 2. Удосконалена схема методу паралельного проєктування ВС

Отримав подальший розвиток метод паралельного проєктування ВС на основі спільного застосування паралельного та платформно-орієнтованого підходів, а також технологій ВІ (рис. 2). Технології ВІ використовуються з метою надання рекомендацій щодо вибору певної апаратно-програмної платформи та швидкого прототипування ВС на основі віддаленого експерименту.

Проєктувальник за допомогою засобів ВІ має можливість: отримувати та аналізувати інформацію про специфікації апаратно-

Вперше розроблено метод АП ВС на основі технологій ВІ, UML діаграму якого наведено на рис. 3. Вхідними даними методу є вимоги до проєктованої системи. За основу приймаємо запропоновану трирівневу модель вимог до ВС, а далі формуються функціональні апаратні та функціональні програмні вимоги. Після цього виконується формування нефункціональних вимог та специфікації використання системи.

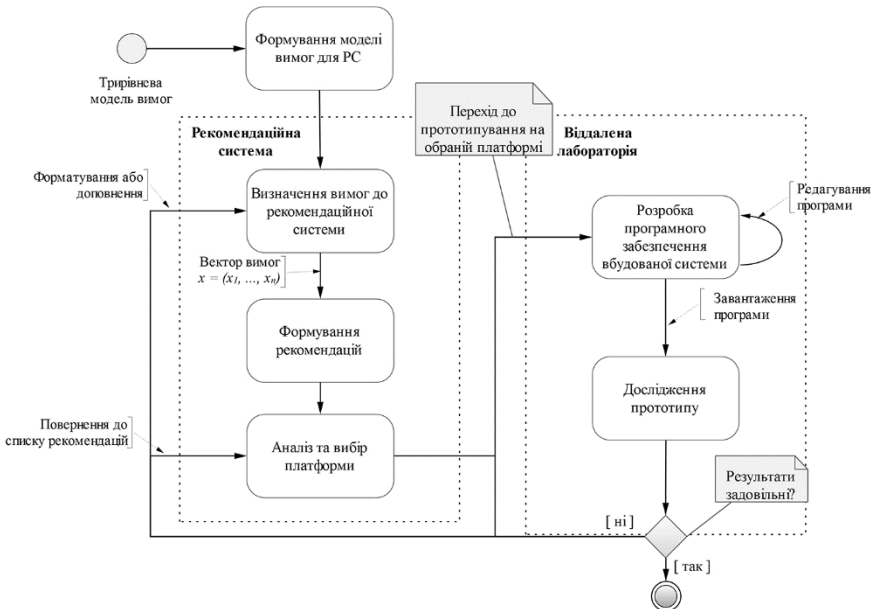


Рис. 3. UML діаграма послідовності етапів методу АП ВС на основі технологій ВІ

Наступним етапом методу є визначення вимог до РС шляхом визначення потреб розробника. Для цього створено список запитів, на основі яких будуть сформульовані певні ознаки шуканої апаратно-програмної платформи для проектування ВС.

На основі відповідей розробника формується вектор вимог до платформи. Якщо задані вимоги x_1, \dots, x_n , при $x: X \rightarrow D_x$, де D_x – множина допустимих значень вимог, то вектор опису вимог платформи можна представити у вигляді $x = (x_1, \dots, x_n)$. Матриця вимог розмірністю $l \times n$ усіх апаратно-програмних платформ вибірки Y^l має вигляд:

$$F = \| y_i \|_{l \times n} = \begin{bmatrix} y_1 & \dots & y_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ y_l & \dots & y_l \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Етап формування рекомендацій передбачає визначення відповідності між заданим розробником вектором вимог $x = (x_1, \dots, x_n)$ та вектором властивостей апаратно-програмних платформ $y = (y_1, \dots, y_n)$. На цьому етапі реалізується метод формування рекомендацій щодо апаратно-програмної платформи. На наступному етапі розробник аналізує надані системою рекомендації та обирає апаратно-програмну платформу для подальшої роботи з нею у ВЛ. Далі, за допомогою засобів ВЛ проектувальник створює програмний код на основі готових (повторно використовуваних фрагменти програмного коду) або власних рішень та перевіряє його на наявність помилок.

Етап дослідження прототипу ВС передбачає завантаження відлагодженої програми до контролеру платформи та проведення віддаленого експерименту у

відповідності з пропонованими сценаріями та схемами підключення сенсорів та актуаторів.

У випадку отримання незадовільних результатів, в залежності від ступеня невідповідності результатів прототипування вимогам до проектованої ВС, розробник може повернутися на етап визначення вимог, де він може корегувати їх, або до списку рекомендацій, з метою обрання іншої рекомендованої платформи, або ж до корегування програми та повторного дослідження прототипу ВС.

Розроблений метод АП ВС на основі використання технологій ВІ дає змогу організувати спільне використання обладнання та програмного забезпечення (без необхідності їх придбання та налаштування) для прототипування проектованої ВС та, таким чином, знизити собівартість проектованої продукції.

У **третьому** розділі обґрунтовано вибір рекомендаційного методу. Виявлено, що фільтрація на основі знань зазвичай застосовується у системах так званого одноразового використання. Для РС на основі знань не передбачено зберігання поведінки користувача та його оцінок щодо об'єктів, а система працює з нагальною потребою користувача, що відповідає поставленій задачі вибору апаратно-програмної платформи при АП ВС.

Розв'язок задачі представлення знань для РС пропонується на основі використання семантичної мережі, яку формально можна представити у вигляді:

$$H = \langle I, C_1, C_2, \dots, C_n, G \rangle, \quad (2)$$

де I – множина інформаційних одиниць (або параметри апаратно-програмних платформ, що беруться зі словника предметної області); $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ – множина типів зав'язків між інформаційними одиницями; G – відображення, що задає взаємодії між інформаційними одиницями.

Базуючись на трирівневій моделі формування вимог, виходячи з аналізу специфікацій та експертних знань щодо особливостей апаратно-програмних платформ, для БЗ були сформовані інформаційні одиниці (надалі вимоги), а їх перелік для роботи РС, представлено у табл. 1. Таким чином, розроблено модель знань, що представлена як семантична мережа, відображає інформацію про апаратно-програмні платформи та може бути ефективно використана при розробці БЗ апаратно-програмних платформ РС.

Таблиця 1 – Вимоги для РС

Назва рівня	Вимоги
Зацікавлена сторона (Stakeholder)	Рівень користувача.
Апаратний (Hardware)	Кількість аналогових входів; кількість цифрових входів; живлення; сімейство процесорів.
Програмний (Software)	Мова програмування.
Додатковий (Supplementary)	Ціна платформи; форм-фактор.

Для розв'язування поставленої задачі визначення подібності елементів для реалізації рекомендаційного методу, заснованого на знаннях, доцільно використовувати метод відстаней та комбінацію варіантів знаходження міри подібності для чисельних атрибутів. Але, для урахування особливостей

розв'язуваної задачі, ці міри подібності було модифіковано. Таким чином, отримав подальший розвиток метод формування рекомендацій щодо апаратно-програмних платформ при АП ВС на основі знань (рис. 4). Вхідними даними для реалізації методу формування рекомендацій є вектор вимог розробника. Першим етапом методу є формування множини апаратно-програмних платформ згідно з заданим рівнем знань розробника, отриманого з вектору вимог. Система виконує фільтрацію апаратно-програмних платформ (далі - платформ) за рівнем знань розробника (жорсткий критерій – див. табл. 2) та формує список можливих платформ. Після цього, виконується розрахунок подібності для гнучких критеріїв, а саме, визначається міра подібності між введеним вектором вимог розробника та атрибутами платформи за формулою:

$$\text{similarity}(X, Y) = \frac{\sum_{y_n \in Y} w_{y_n} \cdot \text{sim}(x_n, y_n)}{\sum_{y_n \in Y} w_{y_n}}, \quad (3)$$

де X – множина атрибутів об'єкта; Y – множина вимог користувача; y_n – вимога; w_{y_n} – вага даної вимоги; $\text{sim}(x_n, y_n)$ – міра подібності атрибуту об'єкта x_n до вимоги y_n .

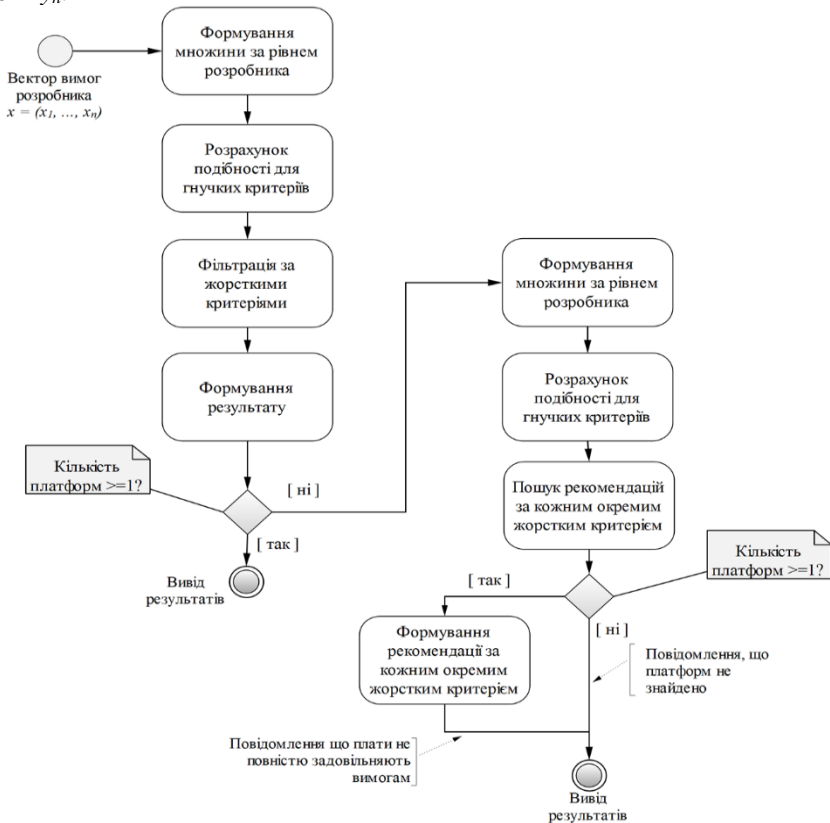


Рис. 4. UML діаграма послідовності етапів методу формування рекомендацій щодо апаратно-програмних платформ

Для сформованої на першому етапі множини платформ розраховується міра подібності за «гнучкими» критеріями (табл. 2):

- якщо ці критерії не зазначено, повертається множина платформ, сформована на етапі 1;

- якщо введено критерій «кількість аналогових входів» чи «кількість цифрових входів», тоді за виразом

$$sim(x, y) = 1 - \frac{|\varphi_y(x) - y|}{max(y) - min(y)}, \quad (4)$$

де $sim(x, y)$ – міра подібності об'єкта x до вимоги y , $min(y)$ та $max(y)$ – відповідно, мінімальне та максимальне значення критеріїв, y – точне значення вимоги користувача, $\varphi_y(x)$ – значення відповідного критерію y об'єкта x , за мірою «більше – краще» визначаються платформи з множини, сформованої на етапі 1; враховуючи те, що розробник вводить значення кількості входів, яка йому потрібна, рекомендація меншої кількості не є доцільною, тому, з урахуванням специфіки критеріїв, формула була модифікована умовою:

$$sim(x, y) \geq y; \quad (5)$$

- якщо введено критерій «живлення», за виразом (4) визначаються платформи з множини, визначеної при аналізі входів, за мірою «ближче – краще»;

- якщо введено критерій «ціна», за виразом:

$$sim(x, y) = \frac{\varphi_y(x) - min(y)}{max(y) - min(y)} \quad (6)$$

визначаються платформи з множини, визначеної при аналізі живлення, за мірою «менше – краще».

Таблиця 2 – Використовувані метрики за критеріями

Назва критерію	Клас критерію	Метрика	Вага
Рівень користувача	Жорсткий	Жорстке обмеження	1
Кількість аналогових входів	Гнучкий	Ближче-краще, але не менше	0,2
Кількість цифрових входів	Гнучкий	Ближче-краще, але не менше	0,2
Живлення	Гнучкий	Ближче-краще	0,2
Сімейство процесорів	Жорсткий	Жорстке обмеження	1
Мова програмування	Жорсткий	Жорстке обмеження	1
Ціна	Гнучкий	Менше-краще	0,7
Форм-фактор	Жорсткий	Жорстке обмеження	1

Далі, обчислюється значення подібності апаратно-програмної платформи, з урахуванням ваги кожного гнучкого критерія платформи за формулою (3). На наступному етапі, після формування гнучких критеріїв, виконується фільтрація за жорсткими критеріями. Платформи з модифікованої на попередньому етапі множини, сортуються за жорсткими критеріями (при їх наявності, інакше алгоритм пропускає етап жорсткого сортування). Далі, виконується формування результуючого списку коефіцієнтів подібності платформ до вимог розробника. Список отриманих рекомендаційних елементів формується за збільшенням показника коефіцієнта подібності. Після цього, виконується перевірка кількості

рекомендованих платформ. Якщо множина платформ містить одну або більше платформ, демонструються чотири найближчі рекомендаційні елементи (у загальному випадку — найкраща за вимогами та три найближчі до неї). Тобто, на виході ми отримуємо до чотирьох апаратно-програмних платформ з мінімальною дистанцією:

$$result = \min d, \quad (7)$$

де d - значення коефіцієнту подібності.

У випадку, коли немає жодної рекомендації, переходимо до формування результату за кожним окремим жорстким критерієм. На цьому етапі для розв'язання суперечливості отриманих вимог застосовується метод багатокритеріального вибору найкращої альтернативи за кожним окремим жорстким критерієм. Якщо множина платформ, сформована на попередньому етапі дорівнює нулю, то надається один з можливих наступних варіантів:

- виконуються повторно етапи формування множини за рівнем знань розробника та подібності за гнучкими критеріями, після чого виконується окреме та спільне попарне жорстке сортування за наступними критеріями: сімейство процесорів, мова програмування, форм-фактор платформи; з цих сортунань обирається найкраще (найбільша кількість відповідностей за цими жорсткими критеріями) та виводиться одна платформа по кожному;

- інакше, якщо введені вимоги користувача досить суперечливі, виводиться повідомлення про те, що платформи не знайдено, пропонується повернутися та відредагувати вимоги, введені користувачем.

Таким чином, модифіковано метод формування рекомендацій на основі знань, на основі якого може бути створено інструментарій надання рекомендацій проектувальнику щодо апаратно-програмних платформ при АП ВС.

У **четвертому** розділі наведено опис розробленого на основі запропонованих моделей та методів програмного, технічного, інформаційного та методичного забезпечення для АП ВС.

Створений ПТК базується на технологіях ВІ, включає в себе РС, БЗ апаратно-програмних платформ та ВЛ RELDES (Remote Laboratory for Design of Embedded Systems). РС взаємодіє з БЗ апаратно-програмних платформ через запити, сформовані на основі вимог до ВС, введених користувачем. ВЛ через послідовний порт взаємодіє з експериментальним стендом, на якому встановлено набір експериментів (апаратно-програмні платформи с підключеними сенсорами та актуаторами). ВЛ також надає доступ користувачам до опису готових проектних рішень у вигляді схем підключення компонентів та текстів програм.

Структурну схему ПТК наведено на рис. 5. Вона складається з програмних блоків та модулів, які забезпечують функціональність ПТК. Створюваний ПТК має забезпечувати наступні функціональні можливості: надання рекомендацій щодо апаратно-програмних платформ при АП ВС, базуючись на введених вимогах розробника; розробка та налагодження керуючої програми для прототипу ВС; створення та дослідження прототипу ВС на основі віддалених експериментів, які представляють собою повторно використовувані рішення для ВС УРО.

Вхідними даними для роботи РС є вимоги проектувальника щодо його рівня знань в галузі розробки ВС, планована кількість контактів для підключення периферії, параметри живлення, надані переваги щодо окремих сімейств

процесорів, знання мови програмування, обмеження цінового діапазону, габарити розробленої ВС. Результатом роботи РС є перелік рекомендованих апаратно-програмних платформ для розробки ВС згідно з введеними вимогами.

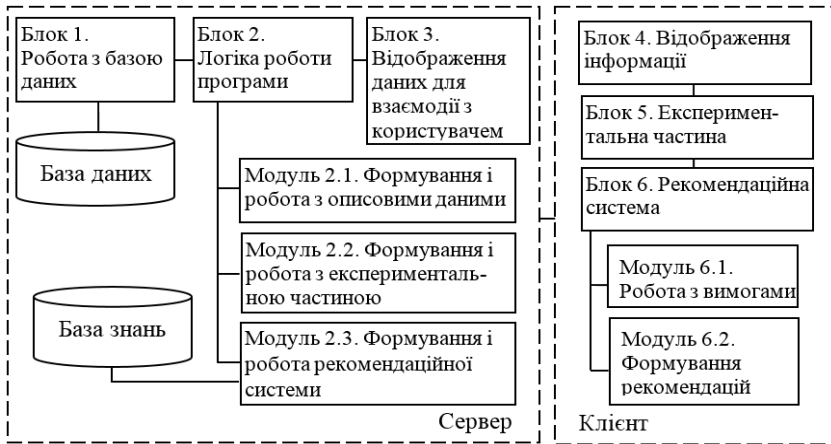


Рис. 5. Структурна схема ПТК

Вхідними даними для створення та дослідження прототипу ВС є схеми підключення сенсорів та актуаторів до апаратно-програмної платформи, а також текст програми для контролера. Експеримент може бути проведений за декількома готовими сценаріями, для яких запропоновано типові програмні та апаратні рішення, або за власним сценарієм. Результатами проведення віддаленого експерименту є звіт про успішність виконання програми, вихідні параметри прототипу ВС, а також трансляція відео зображення функціонування прототипу.

Розроблений ПТК був практично застосований при АП центрального блоку керування (ЦБК) ВС УРО. Після аналізу вимог та проектування архітектури ВС УРО (рис. 6), були отримані необхідні вимоги для пошуку відповідної апаратно-програмної платформи. В результаті роботи РС, за всіма платформами на основі мікроконтролера, було рекомендовано платформу Arduino Mega (крім того, системою було надано 3 додаткові варіанти платформ, які не повністю відповідають вимогам, але близькі до них: Iskra Neo, MSP Launchpad, Arduino Uno). При пошуку серед мінікомп'ютерів точного збігу за всіма введеними вимогами знайдено не було, тому система рекомендувала платформу Raspberry Pi 3 за окремими жорсткими критеріями. Було практично реалізовано та досліджено проект ЦБК ВС УРО на основі Arduino Mega та Raspberry Pi 3, а також на основі оригінальної спроектованої плати з встановленим мікроконтролером ATmega 16. Результати порівняння варіантів наведено в табл. 3 та на рис. 7.

Таким чином, використання розробленого ПТК дало змогу зменшити витрати часу на розробку прототипу ВС УРО на 10-13% за рахунок скорочення часу пошуку відповідної вимогам проекту апаратно-програмної платформи за допомогою РС, а також швидкого прототипування та дослідження прототипу системи з використанням ВЛ. Це сприяло зменшенню собівартості проекту, а також підвищенню продуктивності праці проектувальників (табл. 4).

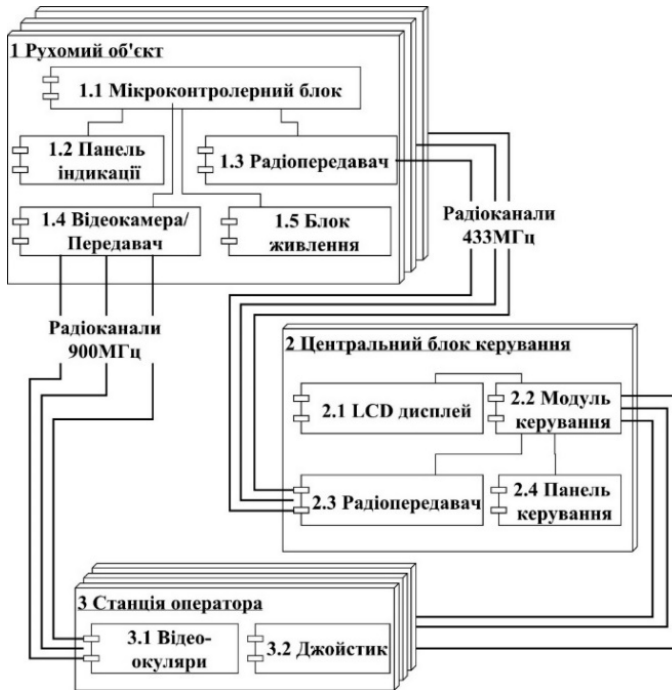


Рис. 6. Архітектура ВС УРО

Таблиця 3 – Результати порівняння різних варіантів реалізації прототипу ВС УРО

Критерії порівняння	Варіант на Raspberry Pi	Варіант на Arduino Mega	Варіант на ATmega 16
Робоча відстань керування	~50 метрів	~50 метрів	~50 метрів
Відстань якісного сигналу на відео-окулярах	~50 метрів	~50 метрів	~50 метрів
Ціна реалізації	~1300 грн.	~1300 грн.	~2000 грн.
Необхідність додаткових конструктивів	Аналого-цифровий перетворювач	Додаткова комунікаційна плата	Оригінальна друкована плата
Енергоспоживання	800mA	38mA	13mA
Час реалізації проекту	~ 27 днів	~26 днів	~ 30 днів

Таблиця 4 – Результати розрахунку показників ефективності проектування

Показник	На Arduino Mega	На Raspberry Pi 3
Економія часу	13%	10%
Підвищення продуктивності праці	15%	11%

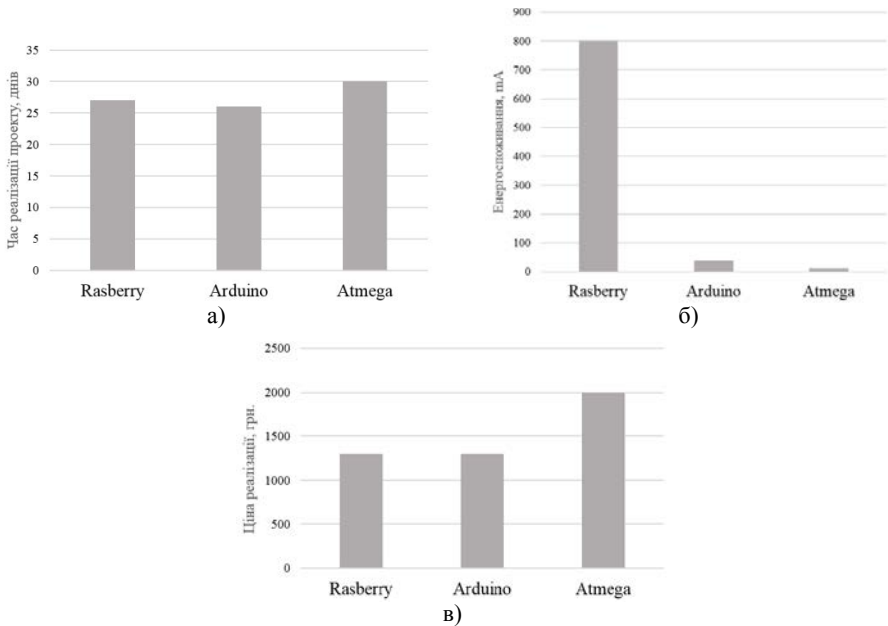


Рис. 7. Діаграми порівняння реалізації прототипу ВС УРО за часом реалізації (а), енергоспоживанням (б) та ціною реалізації (в)

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання розроблення моделей, методів та інструментальних засобів ВІ для підвищення ефективності АП ВС за рахунок скорочення термінів проектування, зниження витрат на проектування та підвищення рівня автоматизації проектувальних робіт. Це було досягнуто завдяки реалізації технологій ВІ на основі:

- віддаленої лабораторії для організації спільного використання обладнання та програмного забезпечення, а також швидкого прототипування проектованої ВС;
- рекомендаційної системи для автоматизованого вибору апаратно-програмної платформи при переході між системним та функціонально-логічним рівнями при АП ВС.

При цьому отримано такі наукові та практичні результати:

1. Вперше розроблено метод АП ВС з використанням технологій ВІ, що дає змогу організувати спільне використання обладнання та програмного забезпечення (без необхідності їх придбання та налагодження) для прототипування проектованої ВС та, таким чином, знизити собівартість проектованої продукції.

2. Отримав подальший розвиток метод паралельного проектування ВС, що відрізняється від існуючого спільним застосуванням паралельного та платформно-орієнтованого підходів, а також засобів ВІ, що дає змогу зменшити час переходу між системним та функціонально-логічним рівнями при проектуванні ВС та підвищити рівень автоматизації проектувальних робіт за рахунок автоматизованого вибору апаратно-програмної платформи.

3. Удосконалено модель формування вимог до ВС та метод роботи з ними, які на відміну від існуючих, враховують структурні особливості ВС, що містять апаратну та програмну складові, дають змогу розподіляти вимоги між програмними та апаратними компонентами ВС при АП та, таким чином, повніше враховувати вимоги до ВС та виконувати необхідні процеси роботи з вимогами при АП.

4. Отримав подальший розвиток метод формування рекомендацій щодо апаратно-програмних платформ при АП ВС на основі знань, який на відміну від існуючого, поєднує у собі методи обмежень та подібних об'єктів, використовує методи багатокритеріального аналізу, що дає змогу надавати рекомендації навіть при суперечливості вимог користувача.

5. Розроблено структуру ПТК, що включає інструментарій ВІ, використання якого дає змогу підвищити ефективність процесу АП ВС за рахунок зменшення часу проектування та собівартості проектованої продукції, а також підвищення рівня автоматизації проектувальних робіт.

6. Розроблено програмне та інформаційне забезпечення РС, яка надає підтримку проектувальнику у вигляді рекомендацій щодо використання апаратно-програмних платформ при АП ВС, виходячи з вимог до проектованої ВС.

7. Розроблено програмне та технічне забезпечення ВЛ, яка дає змогу виконувати швидке прототипування проектованої ВС, перевірку на сумісність і працездатність апаратної та програмної частин, тим самим зменшувати час реалізації проекту.

8. Розроблено методику застосування створеного ПТК при АП ВС, яка може використовуватись у практиці інженерного проектування ВС різного призначення для ефективного впровадження засобів ВІ з метою покращення фінансово-економічних показників проекту.

9. Практичне використання розробленого ПТК при АП ВС УРО дало змогу зменшити витрати часу на розробку на 10-13%, підвищити рівень автоматизації проектувальних робіт, а також продуктивність праці проектувальників на 11-15%.

10. Результати дисертаційної роботи впроваджено в процес АП систем керування об'єктами спецпризначення НВП ХАРТРОН-ЮКОМ, ВС керування комплексом електротехнічного обладнання ПКФ МОТОР та в навчальний процес Запорізького національного технічного університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Parkhomenko A., Gladkova O. Complex requirements analysis for the high-level design of Embedded Systems. *Вісник НУ «Львівська політехніка». Серія «Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика»*. 2014. № 808. С. 3–9.
2. Гладкова О.М., Пархоменко А.В. Дослідження та практична реалізація рекомендаційної системи для вибору апаратно-програмних платформ при автоматизованому проектуванні вбудованих систем. *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»*. 2017. № 2(25). С. 22–31.
3. Дослідження та розробка автоматизованої системи віддаленого керування групою рухомих об'єктів / А.В. Пархоменко, О.М. Гладкова, О.П. Кравченко, Д.П. Кравченко. *Вісник СХУ ім. В. Даля*. 2017. № 8(238). С. 67–74.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

4. Implementation of reusable solutions for remote laboratory development / A. Parkhomenko, O. Gladkova, A. Sokolyanskii, V. Shepelenko, Y. Zalyubovskiy. *International Journal of Online Engineering*. 2016. Vol. 12(7). P. 24–29. (SCOPUS, Web of Science)
5. Development and application of remote laboratory for embedded systems design / A. Parkhomenko, O. Gladkova, E. Ivanov, A. Sokolyanskii, S. Kurson. *International Journal of Online Engineering*. 2015. Vol.11(3). P.27–31. (SCOPUS, Web of Science)
6. Internet-based technologies for design of embedded systems / A. Parkhomenko, O. Gladkova, S. Kurson, A. Sokolyanskii, E. Ivanov. *Journal of Control Science and Engineering*. 2015. Vol. 3(2). P. 55–63.(ProQuest, CrossRef)

Патент на корисну модель та свідоцтва України про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерна програму)

7. Система автоматизованого керування групою рухомих об'єктів / А.В. Пархоменко, О.М. Гладкова, О.П. Кравченко : пат.123942 Україна : МПК G05B 19/05. № u201710387 ; заявл. 27.10.2017 ; опубл. 12.03.2018, Бюл. №5.
8. Свідоцтво № 64253 Україна. Комп'ютерна програма “Віддалена лабораторія проектування вбудованих систем” / А.В. Пархоменко, О.М. Гладкова, О.В. Соколянський; Власник ЗНТУ; дата реєстрації в ДСІВ України 26.02.2016 р.
9. Свідоцтво № 67404 Україна. Комп'ютерна програма “Автоматизована система управління рухомих об'єктом” / А.В. Пархоменко, О.М. Гладкова; власник ЗНТУ; дата реєстрації в ДСІВ України 22.08.2016 р.

Публікації у матеріалах міжнародних наукових конференцій та симпозіумів

10. Challenges and solutions for mobile object control system / D. Kravchenko, O. Kravchenko, A. Parkhomenko, O. Gladkova. *Intelligent data acquisition and advanced computing systems: technology and applications: proceedings of 10th IEEE international conference, 21-23 September, 2017. Bucharest (Romania), 2017. P.988–993.*
11. Path finding algorithm for moving robots and obstacles avoidance / S. Boeckx, P. Pelgrims, A. Parkhomenko, O. Gladkova, D.V. Merode. *Ambient intelligence and embedded systems* : proceedings of the international symposium, 14-16 September, 2017. Vaasa (Finland). URL: <http://amies-2017.international-symposium.org/proceedings.html>
12. Modernization of mobile object control system based on Raspberry Pi and Arduino platforms / A. Parkhomenko, O. Kravchenko, D. Kravchenko, O. Gladkova. *Embedded systems and trends in teaching engineering: proceedings of the international symposium, 12-15 September, 2016. Nitra (Slovakia): Constantine the Philosopher University, 2016. P. 249–253.*
13. Reusable solutions for embedded systems' design / A. Parkhomenko, O. Gladkova, A. Sokolyanskii, V. Shepelenko, Ya. Zalyubovskiy. *Remote engineering and virtual instrumentation* : proceedings of 13th international conference, 24-26 February, 2016. Madrid (Spain), 2016. P. 313–317.
14. Investigation of reuse concepts for embedded systems design / A. Parkhomenko, O. Gladkova, A. Sokolyanskii, Ya. Zalyubovskiy. *Perspective technologies and methods in MEMS design: proceedings of XII international conference, 20-24 April, 2016. Lviv: NU “Lviv Polytechnic”, 2016. P. 78–80.*

15. Гладкова О.М. Підходи та особливості проектування RESTful API. *Тиждень науки – 2016* : тези доп. щоріч. наук.-практ. конф. викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів, студентів ЗНТУ, 18–22 квітня 2016 р. Запоріжжя : ЗНТУ, 2016. С. 562–564.
16. Investigation of remote lab design technologies / A. Parkhomenko, A. Sokolyanski, O. Gladkova, S. Kurson. *Perspective technologies and methods in MEMS design: proceedings of XI international conference*, September 2-6, 2015. Lviv : NU “Lviv Polytechnic”, 2015. P. 92–95.
17. Пархоменко А., Гладкова О. Інтерактивна віддалена лабораторія дослідження апаратно-програмних платформ. *Інтернет-Освіта-Наука-2014* : тези доповіді міжнародної науково-практичної конференції, 14-17 жовтня 2014 р. Вінниця : ВНТУ, 2014. С. 111–113.
18. Пархоменко А.В., Гладкова О.Н., Иванов Е.В. Исследование особенностей создания и применения лаборатории удаленного доступа при решении задач проектирования встроенных систем. *Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій* : тези доповіді VII міжнародної науково-практичної конференції, 17-19 вересня 2014 р. Запоріжжя : ЗНТУ, 2014. С. 205–206.
19. Parkhomenko A.V., Gladkova O.N. Virtual tools and collaborative working environment in embedded system design. *Remote engineering and virtual instrumentation: proceedings of XI international conference*, 26-28 February, 2014. Porto (Portugal), 2014. P. 91–93.
20. Parkhomenko A., Gladkova O. Analysis and application of existent approaches in microcontroller system designing. *Perspective technologies and methods in MEMS design: proceedings of IX international conference*, 16-20 April, 2013. Lviv : NU “Lviv Polytechnic”, 2013. P. 59–61.
21. Parkhomenko A., Gladkova O. Investigation of peculiarities of analysis of system and software requirements for designing automated system. *The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics: proceedings of XII international conference*, 19-23 February, 2013. Lviv: NU “Lviv Polytechnic”, 2013. P.268–270.
22. Исследование современных технологий автоматизированного проектирования электронных устройств на микроконтроллерах / О.А. Поздняков, О.Н. Гладкова, А.В. Пархоменко, О.В. Цветков. *Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій* : тези доповіді VI міжнародної науково-практичної конференції, 19-21 вересня 2012 р. Запоріжжя : ЗНТУ, 2012. С. 248–250.

АНОТАЦІЇ

Гладкова О.М. Автоматизоване проектування вбудованих систем засобами віддаленої інженерії. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2018.

У дисертаційній роботі розв’язано наукове завдання розробки моделей, методів та інструментальних засобів віддаленої інженерії для підвищення

ефективності автоматизованого проектування вбудованих систем. Розроблено метод автоматизованого проектування вбудованих систем з використанням технологій віддаленої інженерії; отримав подальший розвиток метод паралельного проектування вбудованих систем; удосконалено модель формування вимог до вбудованих систем та метод роботи з ними; отримав подальший розвиток метод формування рекомендацій на основі знань. На основі розроблених методів, моделей та алгоритмів реалізовано програмне, технічне, інформаційне та методичне забезпечення для автоматизації проектування вбудованих систем, що дало змогу скоротити терміни проектування, знизити витрати та підвищити рівень автоматизації проектувальних робіт. Це було досягнуто завдяки реалізації технологій віддаленої інженерії на основі віддаленої лабораторії для організації спільного використання обладнання та програмного забезпечення, а також рекомендаційної системи для автоматизованого вибору апаратно-програмної платформи при переході між системним та функціонально-логічним рівнями.

Ключові слова: вбудована система, віддалена інженерія, паралельне проектування, платформно-орієнтоване проектування, апаратно-програмна платформа, віддалена лабораторія, рекомендаційна система, база знань.

Гладкова О.Н. Автоматизация проектирования встроенных систем средствами удаленной инженерии. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – системы автоматизации проектных работ. – Национальный университет «Львовська політехніка» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2018.

В диссертационной работе решена научная задача разработки моделей, методов и инструментальных средств удаленной инженерии для повышения эффективности автоматизированного проектирования встроенных систем. Разработан метод автоматизированного проектирования встроенных систем с использованием технологий удаленной инженерии; получил дальнейшее развитие метод параллельного проектирования встроенных систем; усовершенствована модель формирования требований к встраиваемым системам и метод работы с ними; получил дальнейшее развитие метод формирования рекомендаций на основе знаний. На основе разработанных методов, моделей и алгоритмов реализовано программное, техническое, информационное и методическое обеспечение для автоматизации проектирования встроенных систем управления подвижными объектами, что позволило сократить сроки проектирования, снизить затраты на проектирование и повысить уровень автоматизации проектных работ. Это было достигнуто благодаря реализации технологий удаленной инженерии на основе удаленной лаборатории для организации совместного использования оборудования и программного обеспечения, а также рекомендательной системы для автоматизированного выбора апаратно-программных платформ при переходе между системным и функционально-логическим уровнями.

Ключевые слова: встроенная система, удаленная инженерия, сопряженное проектирование, платформно-ориентированное проектирование, апаратно-программная платформа, удаленная лаборатория, рекомендательная система, база знаний.

Gladkova O.M. The computer aided design of embedded systems by the means of remote engineering tools. – On the rights of manuscript.

Dissertation for scientific degree of Candidate of Technical Sciences. Specialty 05.13.12 – computer aided design systems. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2018.

The scientific task of models, methods and remote engineering tools development for the increasing of efficiency of embedded systems computer aided design was solved in the dissertation work. The study is relevant due to the necessity of modern methods of computer aided design development against the backdrop of growing requirements for reducing the design time of embedded systems while ensuring their quality.

Therefore, the method of embedded systems parallel design was developed, based on the joint application of parallel and platform-oriented approaches, reuse methodology and remote engineering tools. It allows to reduce the time of transition between the system and the functional-logical levels of embedded systems design and to increase the level of design works automation at the expense of hardware-software platform automated selection. For the first time, the method of computer aided design of embedded systems based on the remote engineering technologies was proposed. It allows the sharing of the equipment and software for embedded system prototyping and thus to reduce the cost of projected products. The model of requirements for embedded systems forming and the method of working with them were improved, which, in contrast to the existing ones, take into account the structural features of the embedded systems that contain hardware and software parts. They allow to distribute requirements between the software and hardware components of the embedded system and, thus, to take into account the requirements to the ES more fully and to carry out the necessary processes of working with the requirements in computer aided designing. The method of recommendations forming on the basis of knowledge was developed, which, in contrast to the existing one, combines the methods of restrictions and similar objects, uses the method of multicriteria analysis, which makes it possible to give recommendations even in case of user requirements conflict. The software, hardware tools as well as the informational and methodical support for embedded systems computer aided design on the basis of the developed methods, models and algorithms were implemented.

The software/hardware complex for computer aided design of embedded systems by means of remote engineering tools was created. It allowed a drop of the development time by 10-13% and thus to rise the productivity of designers' work. Therefore, the task of increasing of the efficiency of computer aided design of embedded systems by reducing the design time and the cost of design, as well as the increasing of the level of design work automation was solved. This was achieved through the implementation of remote engineering technologies based on: the remote laboratory for the sharing of equipment and software, as well as rapid prototyping of the projected system; the recommendation system for the automated selection of the hardware-software platform in the transition between the system and the functional-logical levels in the computer aided designing of the embedded systems.

Key words: embedded system, remote engineering, co-design, platform-oriented design, hardware-software platform, remote laboratory, recommendation system, knowledge-database.

Підписано до друку 12.09.2018 Формат 60×84 / 16. Ум. друк. арк. 1,34.
Тираж 100 прим. Зам. № 1012.

Запорізький національний технічний університет
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2394 від 27.12.2005.