

МОДЕЛЬ МУЛЬТИФАКТОРНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТА КОМПЛЕКСНОЇ ПІДТРИМКИ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ

Андрій Пукач¹, Василь Теслюк¹

¹Національний університет “Львівська політехніка”,

кафедра автоматизованих систем управління, Львів, Україна

E-mail: andriipukach@gmail.com, ORCID: 0009-0001-8563-3311

E-mail: vasyt.teslyuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5974-9310

© Пукач А.І., Теслюк В.М., 2025

Розглянуто науково-прикладну задачу позиціонування об'єктів комплексної підтримки програмних продуктів відносно факторів впливу (в межах наявних полісуб'єктних середовищ комплексної підтримки) в контексті глобальнішої науково-прикладної проблеми автоматизації й інтелектуалізації балансування середовищ комплексної підтримки програмних продуктів. Об'єктом дослідження є процес мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів. Предметом дослідження є методи та засоби математичного, евристичного та комп'ютерного моделювання. Метою дослідження є розроблення моделі мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів. Для досягнення поставленої мети розв'язано необхідні задачі дослідження, які подані далі по тексту. Зокрема, здійснено комплексний аналіз проблематики таких фундаментальних складових як комплексна підтримка, об'єкт підтримки, суб'єкти підтримки, фактори впливу, середовище підтримки. Встановлено зв'язок між кожною з фундаментальних складових з метою врахування їх актуальності в контексті досліджуваної проблематики. На фінальному етапі, розроблена модель мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів, що забезпечує можливість розв'язання первинного етапу проблеми балансування середовищ комплексної підтримки програмних продуктів, а саме задачу позиціонування. Розроблена модель виступає в якості базового механізму позиціонування за допомогою полярної та/або Декартової системи координат, забезпечуючи можливості для подальшого моделювання та дослідження потенційних шляхів розвитку, адаптації, вдосконалення та покращення. В якості практичної апробації розробленої моделі, розв'язано прикладну практичну задачу розрахунку тенденції динаміки зміщення об'єкта підтримки відносно заданого фактора впливу в рамках існуючого середовища підтримки.

Ключові слова – програмний продукт, комплексна підтримка, об'єкт підтримки, фактори впливу, позиціонування, модель.

Постановка проблеми

Сучасний ринок інформаційних технологій (ІТ) продовжує невідпинно еволюціонувати, пропонуючи все більший спектр послуг, що призводить до неймовірного зростання кількості та складності програмних продуктів, а, отже, і зростання рівня вимог щодо їх підтримки. Комплексна підтримка програмних продуктів є запорукою їх життєздатності та успішного функціонування, і, фактично, поєднує в собі абсолютно всі та будь-які активності, спрямовані на життєдіяльність продукту.

При цьому, основним «інструментом» комплексної підтримки є суб'єкти, тобто ті учасники процесів комплексної підтримки, які безпосередньо забезпечують та реалізують будь-які активності (розробка програмного забезпечення, його тестування, налаштування середовищ його функціонування, технічна та клієнтська підтримка, формування функціональних вимог, тощо) щодо цієї комплексної підтримки. Таким чином, рівень якості комплексної підтримки, фактично, в повній і абсолютній мірі залежить від цих суб'єктів.

Водночас, якість функціонування самих суб'єктів комплексної підтримки залежить від численної множини факторів впливу, що формують суб'єктивне сприйняття ними об'єкта та процесів комплексної підтримки.

Отже, виникає наукова-прикладна задача позиціонування об'єктів комплексної підтримки програмних продуктів відносно цих факторів впливу (в межах наявних полісуб'єктних середовищ комплексної підтримки) в контексті більш глобальної науково-прикладної проблеми автоматизації й інтелектуалізації балансування середовищ комплексної підтримки програмних продуктів. В даному контексті, під позиціонуванням, фактично, розумітимемо визначення вагомості попередньо задекларованих факторів впливу на об'єкт підтримки.

Об'єктом дослідження є процес мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів. Предметом дослідження є методи та засоби математичного, евристичного та комп'ютерного моделювання. Метою дослідження є розроблення моделі мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів. Практична цінність роботи полягає в розробленні базового механізму позиціонування об'єкта підтримки за допомогою полярної та/або Декартової системи координат. Наукова новизна роботи полягає у розробленні моделі мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів, що забезпечує можливість розв'язання первинного етапу науково-прикладної проблеми балансування середовищ комплексної підтримки програмних продуктів, а саме задачу позиціонування, в контексті більш глобальної науково-прикладної проблематики автоматизації й інтелектуалізації комплексної підтримки програмних продуктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз досліджень та публікацій здійснювався за кількома ключовими напрямками проблематики комплексної підтримки програмних продуктів, а саме:

- автоматизація опрацювання запитів підтримки;
- автоматизація тестування та відлагодження програмних продуктів;
- автоматизація процесів життєвого циклу програмних продуктів з використанням методологій Agile та DevOps;
- дослідження факторів впливу на складові процеси комплексної підтримки програмних продуктів;
- дослідження середовищ підтримки програмних продуктів.

Зокрема, в працях (Paramesh, 2021), (Betru, 2023), (Wang, 2019) досліджується проблематика автоматизації опрацювання, в тому числі із застосуванням сучасного підходу щодо впровадження технологій штучного інтелекту та машинного навчання. Водночас, одним з, мабуть, найбільш відомих напрямків автоматизації активностей життєвого циклу будь-якого програмного продукту є тестування програмного забезпечення, деякі передові напрямки дослідження якого представлені, в тому числі, в працях (Ale, 2024), (Pandy, 2024), (Hayat, 2024), де основний акцент здійснений, якраз, на, тому ж таки, штучному інтелекту та машинному навчанні.

Що ж стосується ключових напрямків автоматизації основних процесів життєвого циклу будь-якого програмного продукту, то в цьому аспекті базову місію виконують, насамперед, методології Agile (актуальні дослідження якої реалізовані, зокрема, в працях (Lingras, 2025), (Alam,

2025), (Radwan, 2024)) та DevOps (нещодавні дослідження якої наведені, зокрема, в рамках робіт (Desmond, 2024), (Chittala, 2024), (Anbalagan, 2024)), які, в свою чергу, також піддаються поступовій автоматизації й інтелектуалізації, в тому числі завдяки тим же технологіям штучного інтелекту.

Додатково необхідно, також, звернути увагу на важливість проблематики впливу різноманітних чинників (факторів) впливу (що діють як на суб'єктів, так і на процеси складових комплексної підтримки програмних продуктів), дослідження яких репрезентовані, зокрема, в нещодавніх працях (Lichter, 2012), (Oliveira, 2018), (Moheel, 2019), де визначаються найрізноманітніші фактори, що, в той чи інший спосіб, та в тій чи іншій мірі, впливають на ці процеси та суб'єктів, що їх забезпечують.

Ще однією надзвичайно важливою складовою в контексті дослідження проблематик комплексної підтримки програмних продуктів є, власне, середовища (в межах яких функціонують ті чи інші її складові), дослідженню яких присвячені, зокрема, роботи (Rajkumar, 2023), (Minciu, 2022), (Miller, 2022), підкреслюючи важливість середовищ (розробки, тестування, інтеграції, розгортання, як і будь-яких інших) у відповідних процесах, кожен з яких є складовою комплексної підтримки будь-якого програмного продукту.

Таким чином, в контексті здійсненого огляду та аналізу останніх досліджень та публікацій за визначеними ключовими напрямками проблематики комплексної підтримки програмних продуктів, бачимо надзвичайну велике різноманіття напрацювань та досягнень в області автоматизації складових комплексної підтримки програмних продуктів.

Проте, в той же час, відзначаємо наявність, також, і деяких нерозв'язаних задач, серед яких, зокрема, такі задачі як:

- необхідність врахування ірраціональної компоненти суб'єктивізації сприйняття об'єктів комплексної підтримки – суб'єктами цієї підтримки (з метою підвищення рівня інтелектуалізації існуючих рішень автоматизації досліджуваних процесів);
- необхідність аналізу та дослідження факторів (або чинників) суб'єктивізації сприйняття об'єктів підтримки;
- необхідність вивчення мультифакторних портретів суб'єктивізації сприйняття об'єкта підтримки – суб'єктами цієї підтримки;
- необхідність формування та дослідження полісуб'єктних середовищ комплексного супроводу об'єктів підтримки;
- а також необхідність мультифакторного позиціонування досліджуваних об'єктів комплексної підтримки програмних продуктів в рамках наявних полісуб'єктних середовищ цієї комплексної підтримки, що забезпечило б можливість синтезу єдиноспільної системи позиціонування досліджуваного об'єкта у зв'язці з задекларованою множиною факторів впливу на його суб'єктивізацію як основу ірраціональної компоненти релевантних процесів його комплексної підтримки.

Формулювання цілі статті

Здійснений аналіз останніх досліджень та публікацій підтверджує актуальність проблематики автоматизації й інтелектуалізації складових комплексної підтримки програмних продуктів та важливість дослідження кожного з її складових, а саме: об'єкта підтримки (підтримуваного програмного продукту); суб'єктів взаємодії з підтримуваним програмним продуктом, що безпосередньо забезпечують та реалізують складові його комплексної підтримки; середовище підтримки, сформоване цими суб'єктами; а також фактори впливу, що впливають на будь-яку функціонально-процесуальну активність та ефективність суб'єктів шляхом суб'єктивізації їх персонального сприйняття об'єкта (та/або процесів) комплексної підтримки.

Проте, на жаль, відсутній механізм симбіозу (поєднання) усіх цих складових комплексної підтримки в рамках однієї єдиної спільної «системи координат», або ж, іншими словами – виникає актуальна науково-прикладна проблема позиціонування об'єкта підтримки в рамках існуючого середовища підтримки сформованого суб'єктами підтримки з врахуванням факторів впливу, а

також, в контексті можливості(-ей) подальшого вирішення релевантних науково-прикладних проблем, однією з яких є проблема балансування середовищ підтримки, що входить до кластеру більш глобальної науково-прикладної проблематики автоматизації й інтелектуалізації комплексної підтримки програмних продуктів.

Таким чином, ціль статті полягає у висвітленні та деталізованому представленні розробленої моделі мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів, що забезпечить можливість розв'язання поставленої науково-прикладної проблеми, а також в її подальшій практичній апробації на прикладі вирішення конкретної прикладної практичної задачі, аналізі отриманих результатів, та розгляді потенційних векторів розвитку подальших досліджень в галузі розглянутої проблематики.

Виклад основного матеріалу

Первинним етапом розв'язання поставленої науково-прикладної задачі позиціонування об'єктів комплексної підтримки програмних продуктів відносно факторів впливу (в межах наявних полісуб'єктних середовищ комплексної підтримки) є забезпечення механізму необхідного симбіозу усіх вищеперелічених у попередньому розділі складових комплексної підтримки, а саме: об'єкта; суб'єктів; середовища; та факторів впливу.

Реалізація необхідного симбіозу можлива шляхом застосування відповідного методу формування мультифакторних портретів суб'єктів підтримки програмних комплексів, представленого в роботі (Pukach, 2025), що, власне, забезпечує прямий зв'язок між: об'єктом підтримки; суб'єктами підтримки; факторами впливу; а також їх інтеграцію в рамках єдино-спільного (полісуб'єктного мультифакторного) середовища підтримки.

Таким чином, на виході первинного етапу отримаємо деталізовану інформацію щодо впливу кожного із попередньо узгоджених та задекларованих факторів впливу на комплексну підтримку об'єкта (самого програмного продукту, або процесів його підтримки) через суб'єктивізацію його сприйняття всіма суб'єктами (що безпосередньо здійснюють його комплексну підтримку), котрі, в свою чергу, формують відповідне полісуб'єктне мультифакторне середовище комплексної підтримки даного об'єкта.

Вираз (1) нижче забезпечує можливість представлення цього впливу кожного із факторів на досліджуваний об'єкт:

$$Ob_{[i]} = [imF_{[i]}^{[1]}, imF_{[i]}^{[2]}, ..., imF_{[i]}^{[n]}], \quad (1)$$

де: $Ob_{[i]}$ – наявний i -ий досліджуваний об'єкт підтримки; $imF_{[i]}^{[x]}$ – x -ий фактор впливу на комплексну підтримку i -ого досліджуваного об'єкта підтримки; n – кількість попередньо узгоджених задекларованих факторів впливу.

При цьому, якщо інтерпретувати значення величини впливу (кожного окремого конкретного фактора впливу) в якості вхідного аргумента деякої функції перетворення «Func» (детальніше представленої виразом (2) нижче), то в такому випадку отримаємо можливість однозначної ідентифікації позиції цього фактора впливу відносно об'єкта підтримки (який, в даному випадку, фактично, виступатиме в ролі «центра координат» формованої, в такий спосіб, системи позиціонування). Тобто, йдеться про об'єктоцентричну систему координат з метрикою віддалі, яка рівноносильна частці впливу відповідного фактора впливу.

$$Cr_{[i]}^{[j]} = Func(imF_{[i]}^{[x]}), \quad (2)$$

де: $imF_{[i]}^{[x]}$ – x -ий фактор впливу на комплексну підтримку i -ого досліджуваного об'єкта підтримки; $Func()$ – функція перетворення величини (що виступає в якості аргумента даної функції) фактора впливу на об'єкт підтримки у відповідну позицію даного фактора відносно цього об'єкта у формованій в такий спосіб системі позиціонування/координат з цим об'єктом у її центрі; $Cr_{[i]}^{[j]}$ – результат функції перетворення, що репрезентує позицію j -ого фактора впливу відносно i -ого досліджуваного об'єкта підтримки.

Припустимо, що кожен із суб'єктів взаємодії з об'єктом в контексті забезпечення та реалізації складових комплексного супроводу останнього, котрі, в такий спосіб, безпосередньо формують відповідне полісуб'єктне досліджуване середовище підтримки даного об'єкта, піддається впливу задекларованої множини факторів, що, в сукупності, призводять до індивідуальної та персоніфікованої суб'єктивізації сприйняття одного і того ж (спільного для всіх цих суб'єктів) об'єкта взаємодії (підтримки) кожним із цих суб'єктів – по-різному. Така відмінність суб'єктивізації сприйняття одного об'єкта різними суб'єктами спричинена унікальністю наборів часток кожного із задекларованих факторів впливу в персональному мультифакторному портреті кожного із суб'єктів.

При цьому, усереднена інтерференція значень мультифакторних портретів усіх суб'єктів (котрі формують середовище підтримки для досліджуваного об'єкта) по кожному із задекларованих факторів впливу – забезпечує можливість отримання інтерпретації узагальненого мультифакторного портрету самого середовища (існування та підтримки досліджуваного об'єкта), описаного виразом (1) вище.

Водночас, як вже зазначалося раніше, величини значень частки впливу по кожному із задекларованих факторів для отриманого узагальненого мультифакторного портрета середовища підтримки досліджуваного об'єкта – відрізнятимуться між собою (в більшості реальних сценаріїв, проте, не виключений, також, і гіпотетичний сценарій, при якому вони будуть ідентичними, що вказує на знаходження об'єкта підтримки в ідеально збалансованому мультифакторному середовищі підтримки, що малоімовірно в реальних умовах).

Саме тому, позиціонування об'єкта підтримки є доволі нетривіальною багатокритеріальною задачею. Та разом з тим, запропонований варіант моделі мультифакторного позиціонування забезпечує можливість її оптимізації за рахунок, насамперед, зміщення центру системи координат такого багатокритеріального позиціонування – в точку безпосередньої локалізації самого об'єкта підтримки, забезпечуючи об'єктоцентричність відповідної системи. В той час як фактори впливу в запропонованій системі, згідно запропонованої концепції, повинні розміщуватися на рівновіддалених відцентрових променях, кількість яких рівна кількості задекларованих факторів впливу, а точна локація фактору впливу (на його релевантному промені) рівна величині частки впливу цього фактора впливу на суб'єктивізацію сприйняття досліджуваного об'єкта підтримки в рамках наявного мультифакторного полісуб'єктного середовища цієї комплексної підтримки. При цьому, враховуючи той факт, що частки впливу кожного із факторів впливу представлені у нормалізованій формі подання (тобто їх загальна сума завжди рівна одиниці, що зумовлено особливістю методу формування мультифакторних портретів суб'єктів підтримки програмних комплексів, представленого у вже згаданій вище праці (Pukach, 2025)), максимальна амплітуда такого радіального позиціонування факторів впливу обмежена величиною цієї нормалізації, тобто арифметичним значенням «1».

Таким чином, модель мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів може бути описана виразом (3) нижче:

$$\text{Pos}_{[\text{Ob}_{[i]}]} = [\text{Func}(\text{imF}_{[i]}^{[1]}), \text{Func}(\text{imF}_{[i]}^{[2]}), \dots, \text{Func}(\text{imF}_{[i]}^{[n]})], \quad (3)$$

де: $\text{Pos}_{[\text{Ob}_{[i]}]}$ – результат позиціонування i -ого досліджуваного об'єкта підтримки; $\text{Func}(\text{imF}_{[i]}^{[x]})$ – результат функції перетворення для j -ого фактора впливу в контексті i -ого досліджуваного об'єкта підтримки.

Отож, основною областю застосування розробленої моделі мультифакторного позиціонування об'єктів комплексної підтримки програмних продуктів є дослідження ірраціональної компоненти суб'єктивізації сприйняття об'єктів такої комплексної підтримки програмних продуктів (де в якості об'єктів можуть виступати як безпосередньо самі підтримувані програмні продукти, так і складові процеси цієї підтримки) – суб'єктами (тобто членами та учасниками відповідних команд та процесів, спрямованих на забезпечення та реалізацію складових комплексного супроводу досліджуваного об'єкта підтримки), котрі безпосередньо взаємодіють з одним і тим же, спільним для них усіх, об'єктом, надаючи та реалізуючи його підтримку, скоординованість, ефективність і ре-

зультативність якої надзвичайно великою мірою залежить, якраз таки, від розбіжностей їх персоніфікованого бачення та сприйняття об'єкта чи процесів підтримки, адже будь-які розбіжності у баченні та сприйнятті об'єкта призводять до непорозумінь, нескоординованості та незлагодженості як міжсуб'єктній взаємодії цих учасників в контексті підтримки їх спільного об'єкта взаємодії, так і, відповідно, всього середовища підтримки (групи, команди, колективу, тощо), яке вони формують.

При цьому, візуалізація розробленої моделі позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів може бути реалізована в абсолютно довільній так, фактично, будь-якій максимально зручній, формі. Зокрема, далі по тексту, в контексті практичної апробації, буде наведено один із варіантів візуалізації.

Розглянемо практичну апробацію розробленої моделі на прикладі розв'язання прикладної практичної задачі розрахунку тенденції динаміки зміщення досліджуваного об'єкта підтримки відносно заданого фактора впливу. Основна цінність розв'язання такої задачі полягає у забезпеченні можливості трекінгу (відслідковування) тенденційної залежності досліджуваного об'єкта підтримки відносно того чи іншого конкретного фактора впливу, що дає розуміння динаміки цього процесу, в той час як перспектива інтерференційованого накладання отриманих траєкторій для множини факторів розкриває нові можливості щодо дослідження їх крос-реферальних залежностей.

Розв'язання даної прикладної практичної задачі реалізовано в кілька етапів, представлених наступним переліком:

- 1) формування деталізованого портрету середовища підтримки досліджуваного об'єкта на основі персональних портретів його суб'єктів;
- 2) формування узагальненого портрету (без по-суб'єктної деталізації) середовища підтримки досліджуваного об'єкта;
- 3) формування моделі позиціонування досліджуваного об'єкта відносно кожного з факторів впливу;
- 4) збереження даних миттєвого зрізу моделі, отриманої на попередньому кроці, в контексті виключно заданого фактору впливу (щодо якого здійснюватиметься розрахунок тенденції динаміки);
- 5) перехід до наступного ситуативного кейсу, та повторна реалізація кроків 1-4 для цього кейсу;
- 6) повторення кроку 5 шляхом повного перебору списку та розгляду всіх ситуативних кейсів аж до завершення списку;
- 7) вивід результатів розрахунку тенденції динаміки зміщення досліджуваного об'єкта підтримки відносно заданого фактора впливу, на основі усіх попередньо збережених на кроці 4 даних.

Таблиця, подана нижче, містить вхідні дані задачі, а саме – персональні мультифакторні портрети усіх суб'єктів, котрі, власне, формують комплексне середовище підтримки досліджуване об'єкта.

Вхідні дані для задачі

Суб'єкт	Фактор1	Фактор2	Фактор3	Фактор4	Фактор5	Фактор6	Фактор7	Фактор8
Суб'єкт1	0.146	0.098	0.171	0.152	0.103	0.126	0.151	0.053
Суб'єкт2	0.105	0.152	0.119	0.103	0.086	0.135	0.153	0.147
Суб'єкт3	0.072	0.191	0.161	0.129	0.179	0.111	0.045	0.112
Суб'єкт4	0.121	0.166	0.162	0.055	0.154	0.056	0.168	0.118
Суб'єкт5	0.207	0.142	0.095	0.111	0.103	0.094	0.147	0.101
Суб'єкт6	0.136	0.159	0.129	0.201	0.151	0.097	0.055	0.072
Суб'єкт7	0.163	0.076	0.109	0.127	0.168	0.151	0.061	0.145
Суб'єкт8	0.107	0.218	0.093	0.044	0.161	0.109	0.165	0.103
Суб'єкт9	0.052	0.114	0.107	0.125	0.126	0.143	0.171	0.162
Суб'єкт10	0.183	0.063	0.142	0.084	0.103	0.158	0.164	0.103
Суб'єкт11	0.148	0.085	0.069	0.124	0.206	0.128	0.124	0.116
Суб'єкт12	0.197	0.191	0.048	0.146	0.105	0.087	0.121	0.105

Також, нижче, на рис. 1, подано відповідну графічну візуалізацію сформованого деталізованого портрету середовища підтримки досліджуваного об'єкта на основі персональних портретів його суб'єктів, в контексті здійснюваної апробації розробленої моделі на прикладі розв'язання задекларованої прикладної практичної задачі.

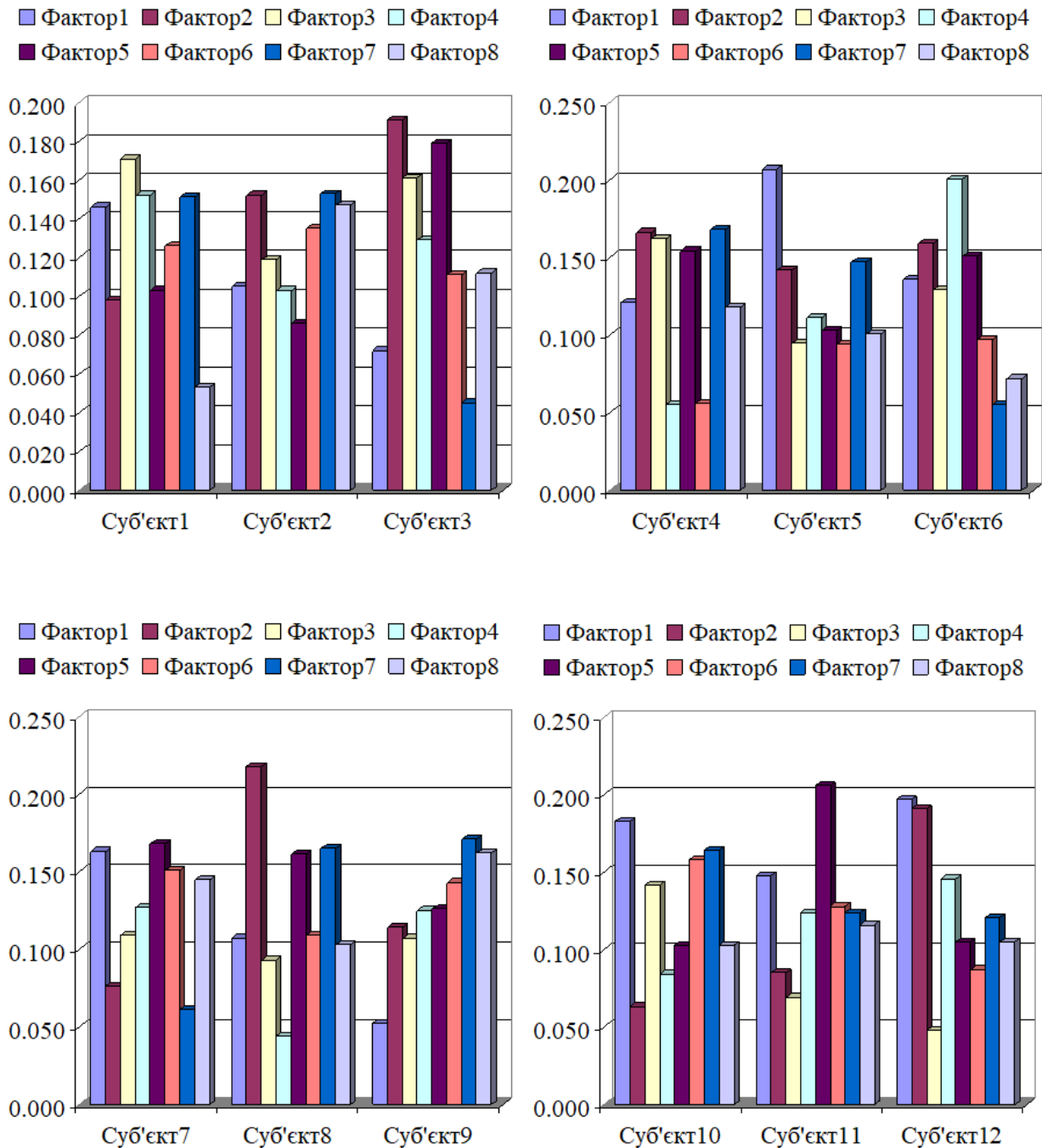


Рис. 1. Графічна візуалізація сформованого деталізованого портрету середовища підтримки досліджуваного об'єкта на основі персональних портретів його суб'єктів

Таким чином, рис. 1 забезпечує можливість первинної візуальної оцінки вхідних даних задачі, а саме – індивідуальних мультифакторних портретів кожного із суб'єктів (учасників складових процесів комплексного супроводу досліджуваного об'єкта підтримки), котрі, власне, безпосередньо формують саме досліджуване мультифакторне середовище комплексного супроводу заданого об'єкта.

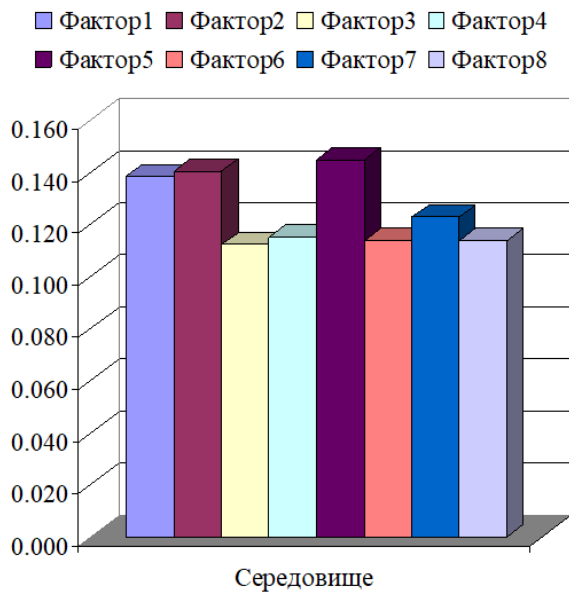


Рис. 2. Графічна візуалізація сформованого узагальненого портрету (без по-суб'єктної деталізації) середовища підтримки досліджуваного об'єкта

Водночас, на рис. 2 подано відповідну графічну візуалізацію сформованого узагальненого портрету (без по-суб'єктної деталізації) середовища підтримки досліджуваного об'єкта. Фактично, узагальнений портрет репрезентує не що інше як середньоарифметичні значення величин кожного із факторів впливу серед усіх суб'єктів підтримки досліджуваного об'єкта, котрі складають основу даного середовища комплексної підтримки цього ж об'єкта. Отже, рис. 2 забезпечує можливість вторинної візуальної інтерпретації сформованого узагальненого мультифакторного портрету досліджуваного середовища підтримки заданого об'єкта, де чітко візуалізується домінантність таких факторів, як «Фактор5», «Фактор2» та «Фактор1» на противагу більш усередненим величинам решти факторів, а саме: «Фактор3», «Фактор4», «Фактор6», «Фактор7» та «Фактор8».

Разом з тим, нижче, на рис. 3, подано приклад одного із можливих варіантів графічної візуалізації отриманої моделі мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів.

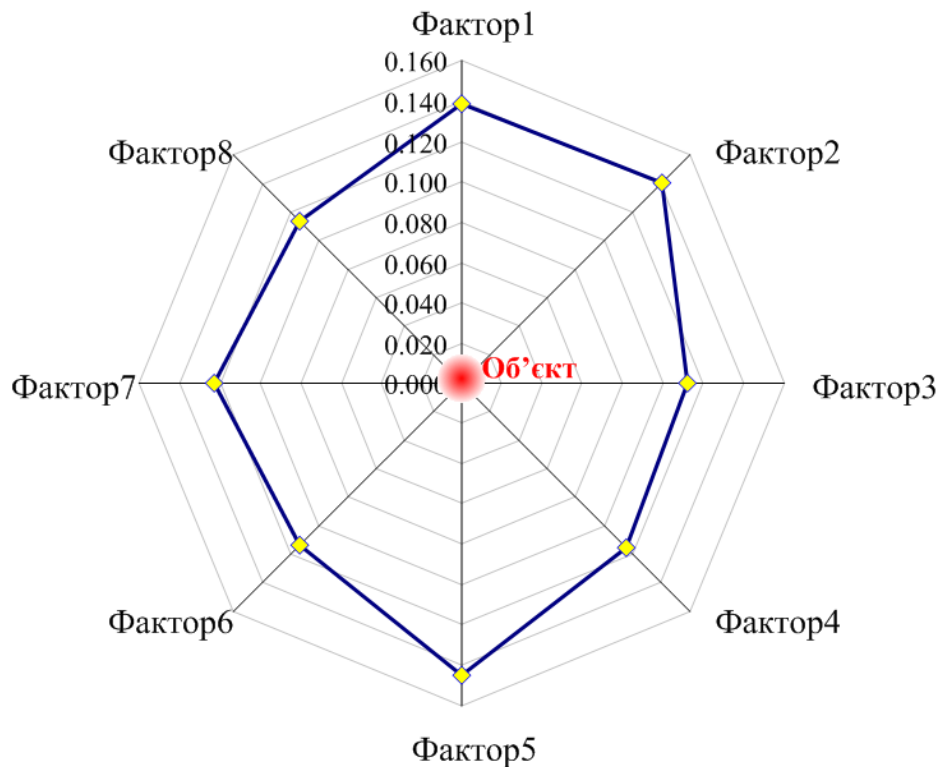


Рис. 3. Приклад одного із можливих варіантів графічної візуалізації отриманої моделі мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів

Отож, рис. 3 забезпечує можливість графічної інтерпретації отриманої моделі мультифакторного позиціонування досліджуваного об'єкта комплексної підтримки, де чітко підтверджується домінантність, зокрема, таких факторів як: «Фактор5», «Фактор2» та «Фактор1» з максимальними амплітудами розтягу контуру синтезованої моделі, а також ділянки з меншою амплітудою розтягу – для решти факторів, таких як: «Фактор3», «Фактор4», «Фактор6», «Фактор7» та «Фактор8».

Таким чином, отримуємо позиціонування об'єкта відносно кожного із факторів впливу в рамках однієї спільної єдиної планарної (двовимірної) системи позиціонування, що, в свою чергу, забезпечує можливість представлення моделі за допомогою стандартних двовимірних систем координат: Декартової та полярної.

Наступною фазою розв'язання поставленої прикладної практичної задачі є, фактично, моніторинг показників значення величини впливу заданого фактору впливу (нехай, заданим фактором впливу, в даному конкретному випадку, буде «Фактор2») з подальшим відтворенням (на основі цього моніторингу) динаміки зміщення об'єкта відносно цього фактора, що в контексті отриманої системи позиціонування рівносильне динаміці зміщення цього ж фактора відносно самого об'єкта, адже отримана система позиціонування зберігає фундаментальний переставний закон.

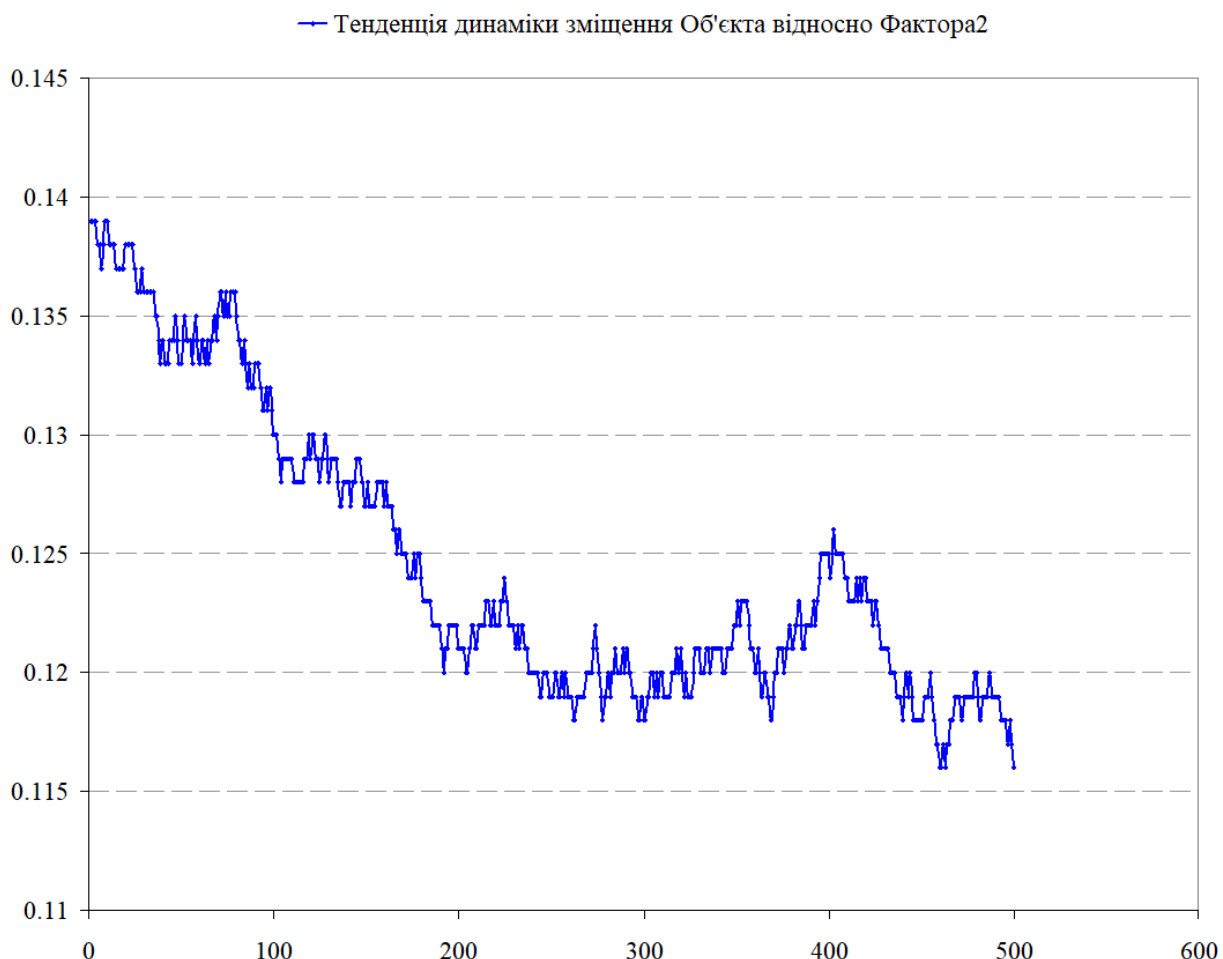


Рис. 4. Візуалізація розрахованої тенденції динаміки зміщення об'єкта підтримки відносно заданого фактора впливу.

Отже, як бачимо з рис. 4, тенденція динаміки зміщення досліджуваного об'єкта підтримки відносно заданого фактора «Фактор2» носить виражений характер декременту, що, гіпотетично, може свідчити про зміну домінантності «Фактора2» іншим фактором, проте для підтвердження цієї гіпотези необхідне здійснення додаткового порівняльного аналізу тенденцій усіх наявних факторів.

Проте, в рамках апробації розробленої моделі мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів, та розв'язання поставленої прикладної практичної задачі розрахунку тенденції динаміки зміщення об'єкта підтримки відносно заданого фактора впливу, отриманої інформації цілком достатньо для того, щоб однозначно констатувати факт позитивної верифікації практичної апробації моделі.

В контексті порівняння з результатами існуючих подібних рішень, реалізовано аналіз на базі двох ключових категорій існуючих підходів та моделей, однією з яких є категорія дослідження ірраціональних факторів в контексті складових комплексної підтримки програмних продуктів, в той час як іншою категорією є сучасні моделі багатопараметричного позиціонування об'єктів в контексті актуальних програмно-технічних рішень та комплексів з використанням передових технологій.

Зокрема, авторами праці (Erman, 2020) запропоновано культурну модель на основі культурно-якісних факторів, що базується на шести критеріях, а саме: природна мова, релігія, соціальні звички, звичаї, етика та закон; де нові критерії-фактори класифікуються на три кластери, кожен з яких містить результат запропонованої культурної моделі, згідно якої ці вищезазначених шість критеріїв-факторів повинні враховувати вплив на схвалення або утримання користувача від програмного продукту залежно від культури першого, що відображатиметься на якості всієї програмної системи вцілому; окрім того, для кожного кластера культурних факторів встановлено кілька основних правил, головним завданням яких є допомога та сприяння у формулюванні релевантних рівнянь якості для програмних систем з метою оцінки вищезадекларованих ірраціональних факторів впливу, а саме: природної мови, релігії, соціальних звичок, звичаїв, етики та права. В той же час, запропонована культурна модель не забезпечує можливості позиціонування безпосередньо самого досліджуваного програмного продукту в контексті мультифакторного середовища (що базується на факторах цих шести категорій) його існування, ставляючи в центр уваги такої системи не сам підтримуваний програмний продукт, а його користувача(-ів).

Водночас, авторами іншої праці (Eze, 2021) досліджуються моделі програмного процесу (англ. термінологічний відповідник Software Process Model), зокрема, такі як: модель водоспаду (англ. термінологічний відповідник Waterfall Model), поступова модель (англ. термінологічний відповідник Incremental Model), спіральна модель, а також V-подібна модель (англ. термінологічний відповідник V-Model); кожна з цих моделей була проаналізована теоретичним, візуальним та аналітичним способом, а також за допомогою табличного сценарію «сила проти слабкості» (англ. термінологічний відповідник Strength Versus Weakness), репрезентуючи на виході сильні та слабкі сторони кожної з моделей, з додаткових врахуванням восьми факторів (а саме: обмеженість людських ресурсів, обмеженість матеріальних ресурсів, часові обмеження, обізнаність з предметною областю, географічні фактори, технологічні проблеми, конкуренція, а також правові/культурні проблеми), що впливають на вибір моделі розробки програмного забезпечення. Проте, жодна з розглянутих моделей, на жаль, не забезпечує можливості врахування факторів суб'єктивізації сприйняття досліджуваних об'єктів (розроблюваних програмних продуктів) в контексті SDLC-концепції (від англ. Software Development Life Cycle, або "життєвий цикл розробки програмних продуктів").

В рамках іншого дослідження (Machuca-Villegas, 2021) авторами розроблено інструмент, що забезпечує можливість оцінки 13 соціальних та людських факторів (англ. термінологічний відповідник Social and Human Factors, або SHF), зокрема, таких як: комунікація, співпраця, відданість, мотивація, задоволення від роботи, лідерство, інновації (креативність), емоційний інтелект,

автономія, емпатія, міжособистісні стосунки, згуртованість команди, здібності та досвід у процесі розробки програмного забезпечення, здібності та досвід в управлінні програмними проектами. Розроблений інструмент реалізує можливість вимірювання сприйняття SHF серед членів команди розробників програмного забезпечення, виступаючи в ролі додаткового механізму оцінювання впливу ірраціональної компоненти розробки програмних продуктів як однієї із складових їх комплексного супроводу. При цьому, розроблений інструмент не передбачає можливості інтегрування отриманих результатів в рамках цілісної замкнутої системи типу "об'єкт-фактор-суб'єкт-середовище", обмежуючись лише забезпеченням можливості отримання статичного зрізу показників SHF в командах розробників програмних продуктів.

В рамках дослідження (Li, 2022) авторами запропоновано спеціалізований метод каліброваного позиціонування пристроїв у гетерогенних мережах, необхідність розроблення якого зумовлена тим фактом, що застарілі технології абсолютного позиціонування об'єктів не підходять для позиціонування між пристроями через мобільність та гетерогенність пристроїв, в той час як запропонований авторами підхід дозволяє взаємодіяти між пристроями з різними режимами зв'язку для відносного позиціонування в гетерогенних системах, оптимізуючи результати визначення відстані низькоточних пристроїв у спільній мережі на основі даних визначення відстані, зібраних з високоточних пристроїв, досягаючи, за рахунок цього, значного покращення точності позиціонування гетерогенних систем. Водночас, математична база запропонованого рішення є доволі нетривіальною, що спричинено необхідністю врахування значних похибок позиціонування низькоточних пристроїв, що, в свою чергу, значно ускладнює застосування такого підходу в контексті досліджуваної проблематики мультифакторного позиціонування об'єктів підтримки програмних продуктів, в той час як запропонований в рамках даної роботи підхід є значно більш оптимізованим з точки зору його математичної компоненти.

В свою чергу, авторським колективом дослідників праці (Tohoiev, 2020) запропоновано метод на основі моделі поширення радіочастот, заснований на багатоагентному підході, з метою розв'язання проблеми розгортання системи позиціонування мобільних пристроїв, оскільки існуючі методи мобільного позиціонування, які були призначені для самого рухомого об'єкта, не потрапляють до сніфера Wi-Fi. В результаті, це дозволяє відстежувати будь-який пристрій, який може отримати доступ до Інтернету через Wi-Fi або Ethernet, як-от мобільний пристрій у цьому підході, та підвищити продуктивність на 2 % при одночасному зменшенні кількості обчислень у моделі. Проте, як і у попередньому випадку, значна математична складність запропонованого підходу робить його невинноватим затратним в плані реалізації в контексті дослідження проблематики мультифакторного позиціонування об'єктів комплексної підтримки програмних продуктів.

Таким чином, на відміну від подібних існуючих підходів, розроблена модель мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів володіє, зокрема, такими ключовими перевагами, як: вона забезпечує можливість дослідження саме факторів суб'єктивізації сприйняття об'єкта підтримки як одного із ключових проявів ірраціональної компоненти, яка все ще надзвичайно мало досліджена, не зважаючи на її значущість; функціонує в повноцінній зв'язці типу "об'єкт-фактор-суб'єкт-середовище"; а також володіє більш оптимізованим математичним представленням за рахунок, насамперед, її об'єктоцентричності на протизагу суб'єктоцентричності, що кратно зменшує обчислювальну складність такого представлення.

В контексті подальшого розвитку та майбутніх досліджень, бачимо потенційну необхідність розроблення додаткового алгоритмічного та програмного забезпечення з метою забезпечення можливості виконання комп'ютерного моделювання (за допомогою розробленої моделі) та вивчення її потенціалу при розв'язанні кластеру наукових та науково-прикладних задач досліджуваної проблематики автоматизації й інтелектуалізації балансування полісуб'єктних мультифакторних середовищ комплексної підтримки програмних продуктів.

Висновки

Розроблено модель мультифакторного позиціонування об'єкта комплексної підтримки програмних продуктів, що вирішує досліджувану науково-прикладну задачу позиціонування об'єктів комплексної підтримки програмних продуктів відносно факторів впливу (в межах наявних полі-суб'єктних середовищ комплексної підтримки) в контексті більш глобальної науково-прикладної проблеми автоматизації й інтелектуалізації балансування середовищ комплексної підтримки програмних продуктів. Особливістю розробленої моделі є її повна інтегративність з абсолютно усіма ключовими елементами комплексної підтримки програмних продуктів, такими як: об'єкт підтримки (як безпосередньо сам підтримуваний програмний продукт, так і складові процеси щодо його комплексної підтримки); суб'єкти підтримки (що взаємодіють з об'єктом, безпосередньо забезпечуючи і реалізуючи його комплексну підтримку); фактори впливу (що впливають на виконання суб'єктами їх прямих функцій щодо складових комплексної підтримки об'єкта шляхом суб'єктивізації їх персоналізованого сприйняття останнього); а також середовище підтримки, що поєднує в собі всі попередні елементи. Розроблена модель виступає в якості базового механізму позиціонування за допомогою полярної та/або Декартової системи координат, забезпечуючи можливості для подальшого моделювання та дослідження потенційних шляхів розвитку, адаптації, вдосконалення та покращення. В якості практичної апробації розробленої моделі, розв'язано прикладну практичну задачу розрахунку тенденції динаміки зміщення об'єкта підтримки відносно заданого фактора впливу в рамках існуючого середовища підтримки. А також, розглянуто перспективи подальших досліджень в контексті досліджуваної проблематики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Alam, K.R., Barua, C. & Kabir, J.U.Z. (2025). The Future of Agile: Utilizing AI Together with Machine Study to Support Real Time Project Control and Modifying Decision Making. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 10(1), 1639-1648. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14792219>
- Ale, N. K. (2024). Enhancing Test Automation with Deep Learning: Techniques, Challenges and Future Prospects. *Computer Science & Information Technology*, vol.14, pp.59–70. <https://doi.org/10.5121/csit.2024.141505>
- Anbalagan, K. (2024). Cloud DevOps and Generative AI: Revolutionizing Software Development and Operations. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 13(8), 15172-15181. URL: https://www.researchgate.net/profile/Karthikeyan-Anbalagan-2/publication/385131074_Cloud_DevOps_and_Generative_AI_Revolutionizing_Software_Development_and_Operations/links/671797abd796f96b8ecae06d/Cloud-DevOps-and-Generative-AI-Revolutionizing-Software-Development-and-Operations.pdf
- Betru, B., & Getahun, F. (2023). Ontology-driven Intelligent IT Incident Management Model. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 15(1), 30–41. <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2023.01.04>
- Chittala, S. (2024). AIOps and DevOps: Catalysts of Digital Transformation in the Age of Automated Operations. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 10(6), 155-166. <https://doi.org/10.32628/CSEIT24106163>
- Desmond, O.C. (2024). The Convergence of AI and DevOps: Exploring Adaptive Automation and Proactive System Reliability. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 12(9), 11310-11325. URL: https://www.researchgate.net/publication/388563829_The_Convergence_of_AI_and_DevOps_Exploring_Adaptive_Automation_and_Proactive_System_Reliability
- Erman, A. M., & Fawareh, H. (2020). Impact Cultural-Quality Factors on Successes and Failures Software System. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(5), 1656–1662. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/26852020>
- Eze, M., & Okunbor, C. (2021). Analytical study of software development process model variants. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 8(2), 023–031. <https://doi.org/10.30574/gjeta.2021.8.2.0111>

- Hayat, A., Sunriz Islam, & Hossain, F. (2024). The Evolving Role of Artificial Intelligence in Software Testing: Prospects and Challenges. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 6(2), 1-16. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i02.14783>
- Li, T., Wan, K., Wu, Z., Cao, Q., & Zheng, X. (2022). Capo: Calibrating Device-to-Device Positioning in Heterogeneous Systems. *Research Square (Research Square)*. pp.1-26. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1570788/v1>
- Lichter, H. (2012). Software Processes in an Agile World. *International Journal of Digital Content Technology and Its Applications*, 6(21), 11–15. <https://doi.org/10.4156/jdcta.vol6.issue21.2>
- Lingras, S. & Basu, A. (2025). Modernizing the ASPICE Software Engineering Base Practices Framework: Integrating Alternative Technologies for Agile Automotive Software Development. *International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM)*, 13(01), 1880-1901. URL: https://www.researchgate.net/profile/Adebis-Samuel/publication/388821959_Modernizing_the_ASPICE_Software_Engineering_Base_Practices_Framework_Integrating_Alternative_Technologies_for_Agile_Automotive_Software_Development/links/67a7aaa9207c0c20fa7ed983/Modernizing-the-ASPICE-Software-Engineering-Base-Practices-Framework-Integrating-Alternative-Technologies-for-Agile-Automotive-Software-Development.pdf
- Machuca-Villegas, L., Gasca-Hurtado, G. P., Puente, S. M., & Tamayo, L. M. R. (2021). An Instrument for Measuring Perception about Social and Human Factors that Influence Software Development Productivity. *JUCS - Journal of Universal Computer Science*, 27(2), 111–134. <https://doi.org/10.3897/jucs.65102>
- Miller, A., Giachetti, R., & Van Bossuyt, D. (2022). Challenges of Adopting DevOps for Combat Systems Development Environment. *Defense Acquisition Research Journal*, 29(99), 22–48. <https://doi.org/10.22594/dau.21-870.29.01>
- Minciu, O.-A., Iacob, I.-L., Ionita, A.-D. & Mocanu, S. (2022). Continuous Integration environment deployment. *Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control*, 32(2), 79–92. <https://doi.org/10.33436/v32i2y202206>
- Moheel, B., Alkatheri, S., & AlSukhayri, A. (2019). Critical Success Factors of Total Quality Management in Software Development. *IARJSET*, 6(2), 50–57. <https://doi.org/10.17148/iarjset.2019.6208>
- Oliveira, E., Conte, T., Cristo, M., & Valentim, N. (2018). Influence Factors in Software Productivity - A Tertiary Literature Review. *International Conferences on Software Engineering and Knowledge Engineering*, 2018, 68–103. <https://doi.org/10.18293/seke2018-149>
- Pandy, G., Pugazhenth, V.J., & Murugan, A. (2024). Advances in Software Testing in 2024: Experimental Insights, Frameworks, and Future Directions. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering (IJARCCE)*, 13(11), 40-45. <https://doi.org/10.17148/ijarcce.2024.131103>
- Paramesh, S.P., & Shreedhara, K.S. (2021). Leveraging the Text Mining to Automate the Customer Helpdesk Systems. *International Journal of Computer Applications*, 183(17), 35–41. <https://doi.org/10.5120/ijca2021921519>
- Pukach, A. I., & Teslyuk, V. M. (2025). Method of forming multifactor portraits of the subjects supporting software complexes, using a multilayer perceptron. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (1), 130–141. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2025-1-12>
- Radwan, A. M., Abdel-Fattah, M. A., & Mohamed, W. (2024). AI-Driven Prioritization Techniques of Requirements in Agile Methodologies: A Systematic Literature Review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(9), 812-823. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2024.0150983>
- Rajkumar, S. (2023). Designing A Cloud-Based Software Testing Environment For Enhancing The Reliability Of Distributed Systems. *International Journal of Advance and Applied Research*, 12(1), 182-193. URL: <https://yra.ijaar.co.in/wp-content/uploads/2024/04/120126.pdf>
- Tohoiev, O., Burlachenko, I., Zhuravska, I., & Savinov V. (2020). The monitoring system based on a multi-agent approach for moving objects positioning in wireless networks, *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2608, pp. 79–90. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2608/paper7.pdf>
- Wang, Q., Shwartz, L., Grabarnik, G. Ya., Nidd, M., & Hwang, J. (2019). Leveraging AI in Service Automation Modeling: From Classical AI Through Deep Learning to Combination Models. *Service-Oriented Computing*, 186–201. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33702-5_14

**MULTIFACTOR POSITIONING MODEL OF THE OBJECT
OF SOFTWARE PRODUCTS' COMPREHENSIVE SUPPORT****Andrii Pukach¹, Vasyl Teslyuk¹**

¹Lviv Polytechnic National University,
Department of Automated Control Systems, Lviv, Ukraine
E-mail: andriipukach@gmail.com, ORCID: 0009-0001-8563-3311
E-mail: vasyt.teslyuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5974-9310

© Pukach A., Teslyuk V., 2025

The scientific and applied problem of positioning the support objects (of software products' comprehensive support) in relation to the relevant impact factors (within the existing polysubject environments of complex support) is considered in the context of a more global scientific and applied problem of automation and intellectualization of balancing the environments of software products' comprehensive support. The object of the study is the process of multifactor positioning of the support object (of software products' comprehensive support). The subject of the research are methods and means of mathematical, heuristic and computer modeling. The aim of the research is to develop a multifactor positioning model of the support object of software products' comprehensive support. In order to achieve the set goal, the necessary research tasks, presented below in the text, have been solved. In particular, a comprehensive analysis has been carried out for the problematic(s) of such fundamental components as: comprehensive support, object of support, subjects of support, impact factors, and support environment. Thereby, a relation(s) has been established between each of these fundamental components in order to take into account their relevance in the context of the researched problem/issue(s). At the final stage, a multifactor positioning model of the object of software products' comprehensive support has been developed, that provides the possibility of solving the initial stage of the problem of balancing environments (of software products' comprehensive support), namely the positioning problem. The developed model acts as a basic positioning mechanism using a polar and/or Cartesian coordinate system, providing possibilities for further modelling and research into possible path(s) and way(s) for further potential development, adaptation, refinement(s), and improvement(s). As a practical approbation of the developed model, the relevant practical applied task of calculating the tendency of the displacement dynamics of the support object relative to the given specific impact factor (within the existing support environment) has been solved and presented in scope of this research.

Keywords - software product, comprehensive support, support object, impact factors, positioning, model.