

ПУКАЧ АНДРІЙ

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0009-0001-8563-3311>e-mail: andriipukach@gmail.com**ТЕСЛЮК ВАСИЛЬ**

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-5974-9310>e-mail: vasyl.m.teslyuk@lpnu.ua

РОЗРОБЛЕННЯ КОМПОНЕНТИ СУБ'ЄКТИВІЗАЦІЇ СПРИЙНЯТТЯ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА СУБ'ЄКТІВ ЛЮДИНО-МАШИННОЇ ВЗАЄМОДІЇ

Робота присвячена вирішенню науково-прикладної задачі врахування суб'єктивізації сприйняття об'єкта людино-машинної взаємодії – суб'єктами цієї взаємодії, в моделях цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії. З метою розв'язання задекларованої науково-прикладної задачі, розроблена спеціалізована компонента суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії, що дає змогу підвищити потенціал та отримати подальший розвиток цих моделей завдяки розширенню їх концептуального призначення та функціональних можливостей, досліджуючи процеси не лише людино-машинної взаємодії, але й, додатково, проблематику сприйняття об'єктів людино-машинної взаємодії – суб'єктами цієї взаємодії. В свою чергу, розроблення та впровадження даної компоненти забезпечує нові можливості в дослідженні та вирішенні релевантних задач глобальної науково-прикладної проблематики автоматизації й інтелектуалізації процесів людино-машинної взаємодії, а також комплексного супроводу програмних продуктів, що є однією з актуальних складових цієї взаємодії. Розроблено концептуальну модель задекларованої компоненти, що повністю відображає ключові принципи її структури та інтегративних властивостей і механізмів. Розроблено базову математичну модель компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії, а також відповідний спеціалізований алгоритм синтезу даної компоненти в межах як існуючих, так і потенційних, моделей людино-машинної взаємодії. Здійснено апробацію розробленої компоненти на прикладі розв'язання практичної задачі ідентифікації максимально сумісних суб'єктів серед числа існуючих в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії. Проведено аналіз потенційних напрямків дослідження щодо можливостей подальшого розвитку та вдосконалення як запропонованої компоненти, так і моделей людино-машинної взаємодії цілому, в контексті дослідження науково-прикладної проблематики автоматизації й інтелектуалізації процесів людино-машинної взаємодії, в тому числі комплексного супроводу програмних продуктів.

Ключові слова: людино-машинна взаємодія, суб'єктивізація сприйняття, модель, автоматизація, інтелектуалізація.

ANDRII PUKACH

Lviv Polytechnic National University

VASYL TESLYUK

Lviv Polytechnic National University

DEVELOPMENT OF A PERCEPTION SUBJECTIVIZATION COMPONENT FOR DIGITAL TWIN MODELS OF HUMAN-MACHINE INTERACTION SUBJECTS

This research is devoted for resolution of scientific and applied problem of consideration (taking into account) the perception subjectivization of the object of human-machine interaction – by the subjects of this interaction, in digital twin models of human-machine interaction subjects. In order to solve the declared scientific and applied problem, a specialized perception subjectivization component has been developed for digital twin models of human-machine interaction subjects, which makes it possible to increase the potential and obtain further development of these models by expanding their conceptual purpose and functional capabilities, exploring the processes of not only human-machine interaction itself, but also, in addition, the issues of the subjective perception of human-machine interaction objects by the subjects of this interaction. In turn, the development and implementation of this component provides new opportunities in researching and solving relevant issues of the global scientific and applied problems of automation and intellectualization of human-machine interaction processes, as well as comprehensive support processes of software products, which is one of the relevant components of this interaction. A conceptual model of the declared component has been developed, which fully reflects the key principles of its structure and integrative properties and mechanisms. A basic mathematical model of the perception subjectivization component for digital twin models of human-machine interaction subjects has been developed, as well as a corresponding specialized algorithm for synthesizing this component within various and potential existing human-machine interaction models. Approbation of the developed component has been carried out on the example of solving the relevant practical task of identifying the most compatible subjects among the number of existing ones within the framework of the researched human-machine interaction. An analysis of potential research directions was conducted regarding the possibilities of further development(s) and improvement(s) of both the proposed component and human-machine interaction models as a whole, in the context of research area(s) of the scientific and applied problems of automation and intellectualization of the human-machine interaction processes, including software products' comprehensive support as one of the relevant components of this interaction.

Keywords: human-machine interaction, perception subjectivization, model, automation, intellectualization.

Стаття надійшла до редакції / Received 10.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.04.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасний ринок інформаційних технологій (ІТ) відзначається надзвичайно високим рівнем насиченості найрізноманітніших програмних продуктів, а також вимог щодо їх взаємодії з суб'єктами (архітекторами, розробниками, тестувальниками, системними інженерами, бізнес-аналітиками, працівниками відділів клієнтської та технічної підтримки, клієнтськими користувачами, тощо) в призмі їх релевантної людино-машинної взаємодії (ЛМВ). Один із варіантів забезпечення покращення цієї взаємодії полягає у використанні підходів, методологій, чи рішень автоматизації й інтелектуалізації, в тому числі посередництвом застосування технологій штучного інтелекту (ШІ), релевантних процесів. В свою чергу, необхідність формалізації представлення суб'єктів досліджуваних процесів людино-машинної взаємодії забезпечується можливістю використання підходів моделей цифрового двійника. Проте, існуючі моделі не враховують особливостей суб'єктивізації сприйняття (зумовлені різноманітними факторами впливу) об'єктів ЛМВ – суб'єктами цієї взаємодії, в той час як саме ці особливості безпосередньо впливають на структуру, підходи, та якісь цієї взаємодії, адже в кожного суб'єкта ці характеристики можуть бути індивідуальними та, навіть, абсолютно унікальними. В свою чергу, це призводить до виникнення відповідної науково-прикладної задачі врахування суб'єктивізації сприйняття об'єкта людино-машинної взаємодії – суб'єктами цієї взаємодії, в моделях цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії.

Таким чином, **актуальність** даного дослідження полягає у вирішенні задекларованої науково-прикладної задачі врахування суб'єктивізації сприйняття об'єкта людино-машинної взаємодії – суб'єктами цієї взаємодії, в моделях цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії. **Об'єктом дослідження** є процеси суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії. **Предметом дослідження** є методи та моделі людино-машинної взаємодії, а також моделі цифрового двійника. **Мета роботи** полягає в розробленні компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії. Завданнями дослідження, що забезпечують досягнення задекларованої мети дослідження, є: аналіз існуючих напрацювань в предметній області; розроблення базової математичної моделі компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії; розроблення відповідного спеціалізованого алгоритму синтезу запропонованої компоненти в межах як існуючих, так і потенційних, моделей людино-машинної взаємодії; а також практична апробація розробленої компоненти на прикладі розв'язання релевантної прикладної практичної задачі.

Аналіз досліджень та публікацій

Огляд досліджень та публікацій здійснено в ключових напрямках, таких як: людино-машинна взаємодія, та моделі цифрового двійника. Зокрема, робота [1] репрезентує модель людино-машинної взаємодії, що в сукупності з інкапсуляцією послідовного потоку методів аналізу завдань формують комплексну структуру, на основі якої пропонується релевантна блок-схема людино-машинної взаємодії, за допомогою якої елементи взаємодії, відносини та потоки визначаються та класифікуються, у відповідний спосіб, забезпечуючи комплексний процес структурованого проектування, заснований на цьому підході.

Водночас, робота [2] розширює модель мікропроцесів людино-машинної взаємодії (представлену в роботі [3]), забезпечуючи систематичну інтеграцію її різноманітних елементів у загальну теоретичну структуру, та досліджуючи взаємозалежності, внутрішню логіку та динаміку між характеристиками та деталями моделі, фіксуючи їх систематичну поведінку, демонструючи міцне узгодження з ключовими поняттями, такими як ієрархія, вкладені системи, необхідна різноманітність, теорія чорної скриньки та механізми зворотного зв'язку, що завдяки такому метатеоретичному обґрунтуванню дозволяє більш повно зрозуміти складну взаємодію між користувачами продуктів, продуктами та інформаційними продуктами в робочих ситуаціях, поєднуючи теоретичні основи та практичне застосування, та закладаючи основу для розробки науково-обґрунтованих методологій дослідження продуктів у технічній комунікації. В контексті праці [4] авторами висвітлюється питання того, як існуючі роботи по моделюванні людино-машинної взаємодії (зокрема, представлені в роботі [5]) використовуються як теоретична основа для розробки доступних цифрових інструментів для створення узгодженої системи цифрових інструментів для сприяння кращому, легшому та доступнішому управлінню безпекою в контексті людино-машинної взаємодії.

Крім того, в роботі [6] розглядається інтеграція технології цифрового двійника у симуляцію, аналітику даних, машинне навчання, Інтернет речей, мережі та людино-машинну взаємодію, формулюючи висновок, що технології цифрового двійника підвищують ефективність, зменшують витрати та покращують процес прийняття рішень у комп'ютерній інженерії. А також досліджуючи різноманітні існуючі моделі людино-машинної взаємодії, однією з яких є, зокрема, модель представлена в роботі [7], де авторами репрезентовано проект спрямований на розробку системи інтелектуального цифрового двійника, яка покращує взаємодію користувача шляхом візуалізації великих даних таким чином, щоб їх було легко зрозуміти та обробити, що забезпечує можливість користувача втручатися та контролювати всі процеси з віртуальної консолі, маючи повний контроль над потоком даних, результати чого відповідний спеціалізований інтерфейс надаватиме контекстну

інформацію на основі точки зору користувача.

Автор праці [8], базуючись на аналізі системи конотації та архітектури цифрового двійника, аналізує їх ключові технології в побудові моделей, зборі та аналізі даних, взаємодії та візуалізації віртуальної реальності, підсумовується прогрес досліджень технології цифрового двійника в різноманітних актуальних галузях, підсумовуються існуючі недоліки та майбутні тенденції розвитку. Водночас, авторами роботи [9] обговорюються деякі проблеми у впровадженні моделей цифрових двійників для розширення їх ролі у різноманітних областях застосування, а також проведено ґрунтовний систематичний огляд літератури, щоб оцінити роль моделей цифрових двійників у промислових операціях і визначити проблеми для реалізації. В той час як в роботі [10] представлено приклад реалізації надзвичайно масштабного проекту по впровадженню моделей цифрового двійника для великих фізичних об'єктів (зокрема, мова йде про великі будівлі), об'єднавши інформаційну модель об'єкту та відповідну тривимірну модель, з урахуванням типів компонентів об'єкта та релевантних геометричних трансформацій, а також тривимірну реєстрацію просторового положення за допомогою методу трансформації твердого тіла та відображення семантичної інформації, що, в сукупності, забезпечило можливість дослідження можливостей методологій та технологій цифрового двійника в контексті їх прикладного застосування для справді масштабних реальних фізичних об'єктів. Ще одним надзвичайно актуальним напрямком впровадження моделей цифрових двійників є, зокрема, напрямок, описаний в роботі [11], де авторами запропоновано наскрізну структуру, яка поєднує систему невідкладної допомоги з моделлю цифрового двійника (для пацієнта), у якому прогнозований результат можна проаналізувати та перевірити перед наданням найкращого можливого варіанту допомоги, перш ніж це призведе до будь-яких потенційних загроз для пацієнта.

Таким чином, на основі проведеного аналізу існуючих досліджень та публікацій, підтверджено надзвичайну актуальність методологій та технологій людино-машинної взаємодії та цифрового двійника, як по-окремо, так і в симбіозі один з одним, для вирішення низки науково-прикладних та прикладних практичних задач. Водночас, проведений огляд існуючих напрацювань засвідчує, також, наявність суттєвих прогалин існуючих моделей цифрового двійника, як в контексті людино-машинної взаємодії та її суб'єктів, так і в цілому, що полягає у відсутності врахування суб'єктивізації сприйняття об'єкта людино-машинної взаємодії – суб'єктами цієї взаємодії, як в моделях цифрового двійника, так і в моделях людино-машинної взаємодії в цілому. В результаті, виникає необхідність розроблення спеціалізованого рішення, що забезпечило б можливість вирішення релевантної науково-прикладної задачі врахування суб'єктивізації сприйняття об'єкта людино-машинної взаємодії – суб'єктами цієї взаємодії, в моделях цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії. Одним з таких рішень, є розроблення відповідної спеціалізованої компоненти, особливістю якої є її максимальна універсальність, що забезпечило б можливість її інтеграції в більшість існуючих (як і потенційно розроблюваних) моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії. Зокрема, дане дослідження присвячене розробленню такої спеціалізованої, та, водночас, максимально універсальної, компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії, що забезпечує можливість розв'язання задекларованої науково-прикладної задачі в контексті дослідження та вирішення глобальної науково-прикладної проблематики автоматизації й інтелектуалізації людино-машинної взаємодії, та, зокрема, комплексної підтримки програмних продуктів як однієї з її актуальних складових.

Виклад основного матеріалу

Розроблення задекларованої компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії реалізовано в кілька ключових та фундаментальних етапів, що включають, зокрема, такі пункти як:

- розроблення структури задекларованої компоненти, яка в відображали ключові принципи її структуру та інтегративних властивостей і механізмів;
- розроблення базової математичної моделі компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії;
- розроблення спеціалізованого алгоритму синтезу даної компоненти в межах як існуючих, так і потенційних, моделей людино-машинної взаємодії;
- апробація розробленої компоненти на прикладі розв'язання практичної задачі (зокрема, в рамках дослідження, представленого в цій роботі, мова йде про конкретну експериментальну задачу ідентифікації максимально сумісних суб'єктів серед числа існуючих в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії).

Зокрема, нижче, на рисунку 1, подано візуалізацію розробленої концептуальної моделі задекларованої компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії, що повністю відображає ключові принципи її структуру та інтегративних властивостей і механізмів. Розроблена концептуальна модель задекларованої компоненти (суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії) повністю відображає ключові принципи її структуру та інтегративних властивостей і механізмів, у відповідності з якими дана компонента може інтегруватися у вже існуючі моделі цифрових двійників суб'єктів людино-машинної взаємодії, доповнюючи цю взаємодію додатковими зв'язками,

посередництвом яких суб'єкт і об'єкт можуть вступати у взаємодію виключно через призму суб'єктивного сприйняття першим останнього, що максимально відповідає реальній картині будь-якої людино-машинної взаємодії, чи міжсуб'єктної взаємодії в цілому, в чому і полягає основна особливість як розробленої концептуальної моделі, так і задекларованої компоненти в цілому.



Рис. 1. Концептуальна модель компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії

Наступним етапом розроблення задекларованої компоненти є, власне, розроблення її базової математичної моделі. Зокрема, вираз (1) нижче репрезентує узагальнену модель цифрового двійника суб'єкта людино-машинної взаємодії:

$$SubjDTm_{[s]} = \begin{cases} .Sch[i], (i \in [1..NxSch]) \\ .SRL[o], (o \in [1..NxSRL]) , \\ .SFu[k], (k \in [1..NxSFu]) \end{cases} \quad (1)$$

де $SubjDTm_{[s]}$ – узагальнена модель цифрового двійника конкретного s -ого суб'єкта, в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії; $.Sch[i], (i \in [1..NxSch])$ – набір персональних характеристик поточного досліджуваного суб'єкта в його узагальненій моделі цифрового двійника, в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії; $NxSch$ – кількість персональних характеристик поточного досліджуваного суб'єкта; $.SRL[o], (o \in [1..NxSRL])$ – набір персональних зв'язків поточного досліджуваного суб'єкта (з іншими суб'єктами, об'єктами, процесами, чи сутностями, в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії) в його узагальненій моделі цифрового двійника; $NxSRL$ – кількість персональних зв'язків поточного досліджуваного суб'єкта (з іншими сутностями, в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії); $.SFu[k], (k \in [1..NxSFu])$ – набір персональних функцій, якими наділений поточний досліджуваний суб'єкт (в його узагальненій моделі цифрового двійника) в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії; $NxSFu$ – кількість персональних функцій поточного досліджуваного суб'єкта.

Таким чином, згідно запропонованого представлення, узагальнена модель цифрового двійника будь-якого суб'єкта людино-машинної взаємодії ґрунтується на трьох фундаментальних складових:

- персональних характеристиках суб'єкта;
- персональних зв'язках суб'єкта;
- персональних функціях суб'єкта.

При цьому, кожна з цих фундаментальних складових невід'ємно пов'язана з рештою, формуючи цілісний образ цифрового двійника досліджуваного суб'єкта людино-машинної взаємодії.

Водночас, введення компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії передбачає появу додаткової (четвертої) фундаментальної складової, невід'ємно пов'язаної з трьома існуючими, і цією складовою є, якраз таки, суб'єктивізація сприйняття даним конкретним суб'єктом людино-машинної взаємодії: об'єкта, інших суб'єктів, чи процесів цієї взаємодії. При цьому, повна відповідальність а цю суб'єктивізацію сприйняття лежить на факторах впливу, що, у той чи інший спосіб, в тій чи іншій мірі, «спотворюють» об'єктивну картину

реальності (в якій існують об'єктивні характеристики інших суб'єктів, процесів, чи об'єктів) в сприйнятті її суб'єктом, зумовлюючи, тим самим, виникнення суб'єктивного бачення та суб'єктивного сприйняття даним суб'єктом цієї реальності (в даному контексті – людино-машинної взаємодії). Вираз (2) нижче репрезентує четверту фундаментальну складову, додатково введену в узагальнену модель цифрового двійника суб'єкта людино-машинної взаємодії:

$$SubjDTm_{[S]} = \left| \cdot SSpF_{[q]}^{[Px]}, (q \in [1..NxSSpF]) \right|, \quad (2)$$

де $SSpF_{[q]}^{[Px]}, (q \in [1..NxSSpF])$ – персональні характеристики суб'єктивізації сприйняття (деякої конкретної сутності Px) для моделей цифрового двійника поточного суб'єкта людино-машинної взаємодії, представлені частками впливу відповідних факторів впливу; $NxSSpF$ – кількість факторів впливу, що формують суб'єктивний образ сутності Px у сприйнятті її поточним досліджуванним суб'єктом, в ході їх взаємодії.

Зокрема, вираз (3) нижче більш детально розкриває суть персональних характеристик суб'єктивізації сприйняття сутності – досліджуванним суб'єктом:

$$SSpF_{[1..NxSSpF]}^{[Px]} = \left[\begin{array}{c} PSIF_{[1]}^{[SubjDTm_{[S]}]}(Obj[Px]) \\ PSIF_{[2]}^{[SubjDTm_{[S]}]}(Obj[Px]) \\ \vdots \\ PSIF_{[NxSSpF]}^{[SubjDTm_{[S]}]}(Obj[Px]) \end{array} \right], \quad (3)$$

де $PSIF_{[1]}^{[SubjDTm_{[S]}]}(Obj[Px])$ – частка впливу 1-ого фактора впливу на суб'єктивізацію сприйняття поточним досліджуванним суб'єктом $SubjDTm_{[S]}$ деякої конкретної сутності Px (представленої набором її об'єктивних характеристик $Obj[Px]$); $PSIF_{[NxSSpF]}^{[SubjDTm_{[S]}]}(Obj[Px])$ – частка впливу останнього фактора впливу (з числа $NxSSpF$ задекларованих) на суб'єктивізацію сприйняття поточним досліджуванним суб'єктом $SubjDTm_{[S]}$ сутності Px (представленої набором її об'єктивних характеристик $Obj[Px]$).

При цьому, самі значення величин часток впливу кожного із факторів впливу отримуються за допомогою адаптації спеціалізованого методу, представленого в роботі [12], що забезпечує можливість отримання комплексних поліфакторних портретів суб'єктів релевантної міжсуб'єктної взаємодії. Суть адаптації представленого методу полягає виключно в підборі відповідної (необхідної) множини факторів впливу, що відображатимуть вплив на сприйняття суб'єктами – інших суб'єктів, об'єктів, процесів, або сутностей, в рамках існуючої між ними конкретної досліджуваної людино-машинної взаємодії.

Таким чином, комплекс виразів (1)-(3) репрезентує розроблену базову математичну модель компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії. Особливість розробленої базової математичної моделі полягає в її максимальній універсальності, реалізованій за допомогою додатково розробленої універсальної моделі цифрового двійника будь-якого суб'єкта людино-машинної взаємодії, як і, впринципі, будь-якої міжсуб'єктної взаємодії взагалі.

Наступним етапом розроблення задекларованої компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії є, власне, розроблення спеціалізованого алгоритму синтезу даної компоненти в межах як існуючих, так і потенційних, моделей людино-машинної взаємодії. Зокрема, нижче, на рисунку 2, подано блок-схему розробленого алгоритму.

Отже, завершальним етапом розроблення задекларованої компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії є її практична апробація на прикладі розв'язання конкретної прикладної практичної задачі, якою, в рамках даного дослідження, є задача ідентифікації максимально сумісних суб'єктів серед числа існуючих в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії.

Розв'язання задекларованої прикладної задачі здійснюється в два етапи, а саме:

- синтез компоненти суб'єктивізації сприйняття суб'єктів досліджуваної людино-машинної взаємодії шляхом ідентифікації поліфакторних портретів цих суб'єктів;
- ідентифікація максимально сумісних суб'єктів серед числа існуючих в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії.

При цьому, максимальна сумісність суб'єктів визначається максимальною схожістю їх суб'єктивних бачень одного і того ж об'єкта взаємодії, що, в свою чергу, означає максимальну подібність їх поліфакторних портретів в рамках синтезованої компоненти суб'єктивізації.

Зокрема нижче, на рисунку 3, подано графічну інтерпретацію синтезованої компоненти суб'єктивізації сприйняття кожного із суб'єктів досліджуваної людино-машинної взаємодії, репрезентованої набором часток присутності кожного із задекларованих факторів впливу, об'єднаних у відповідні поліфакторні портрети цих суб'єктів.

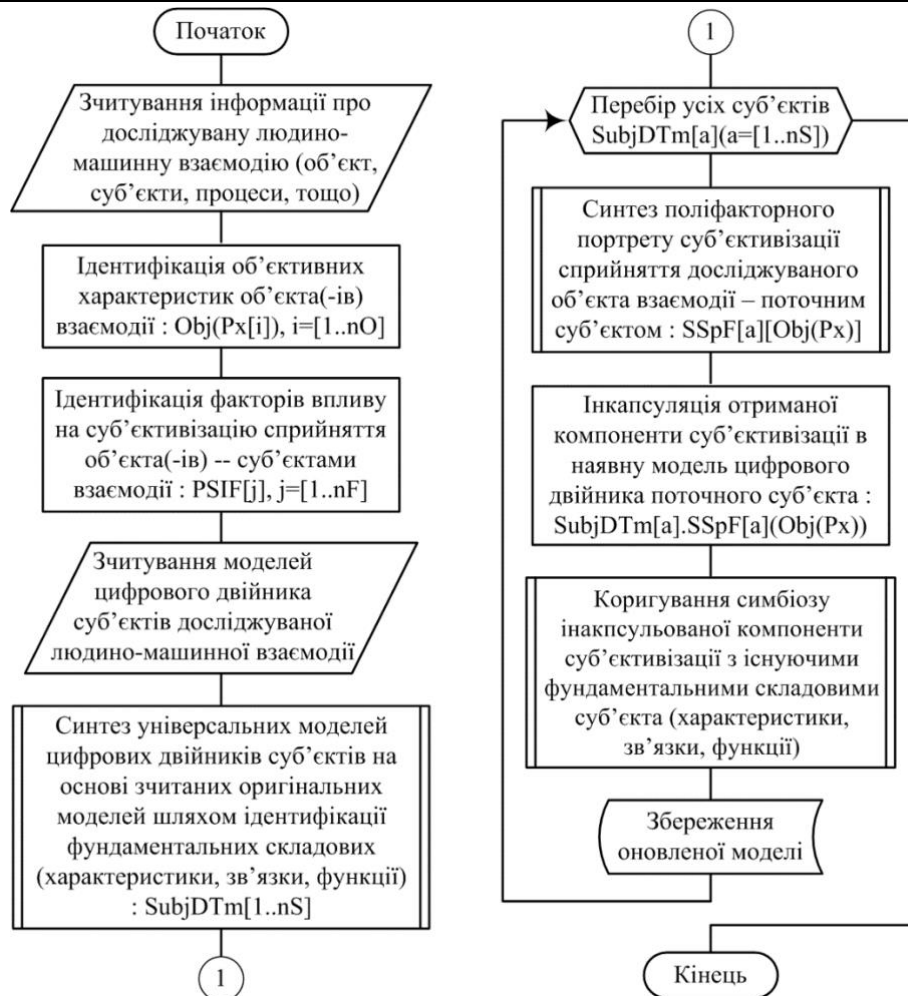


Рис. 2. Блок-схема спеціалізованого алгоритму синтезу компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії

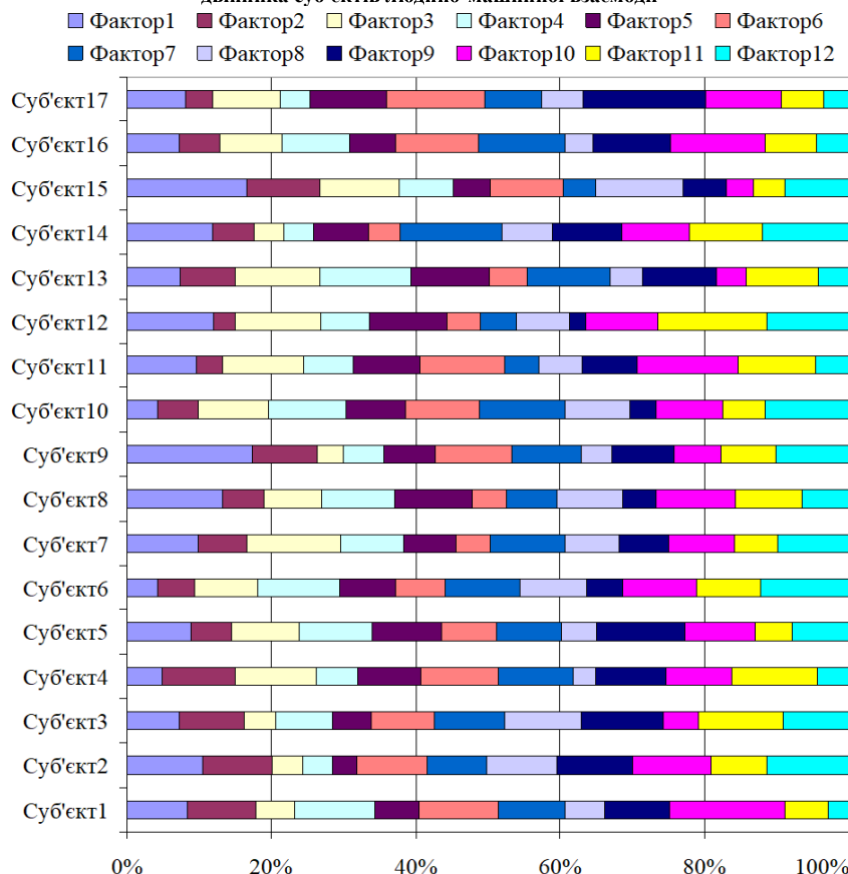


Рис. 3. Візуалізація компоненти суб'єктивізації для кожного з суб'єктів досліджуваної людино-машинної взаємодії

Водночас, наступний рисунок 4 демонструє фінальний результат ідентифікації максимально сумісних суб'єктів серед числа існуючих в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії.

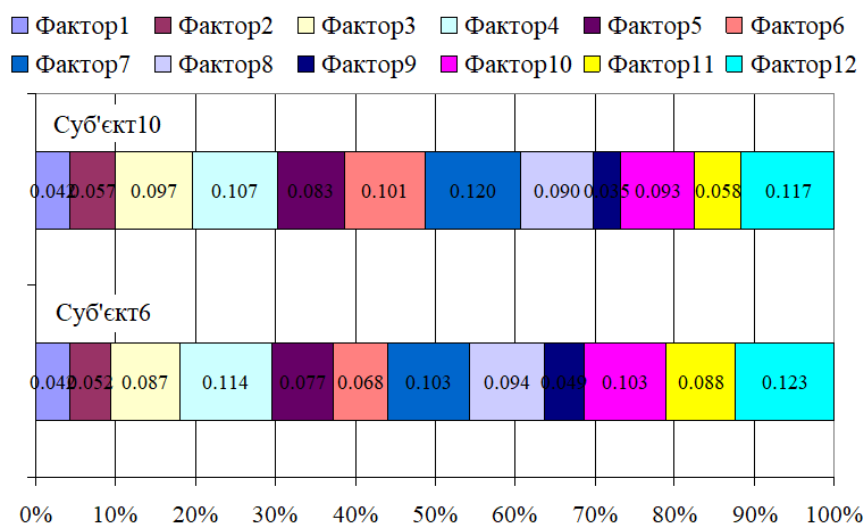


Рис. 4. Результат ідентифікації максимально сумісних суб'єктів серед числа існуючих в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії

Таким чином, в ході розв'язання експериментальної прикладної практичної задачі ідентифікації максимально сумісних суб'єктів серед числа існуючих в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії виявлено, що «Суб'єкт6» та «Суб'єкт10» є такими суб'єктами, оскільки параметричні показники їх компоненти суб'єктивізації сприйняття об'єкта, в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії, є найбільш подібними серед усіх інших суб'єктів.

В свою чергу, розв'язання даної прикладної практичної задачі засвідчує позитивний результат апробації розробленої компоненти суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розроблено компоненту суб'єктивізації сприйняття для моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії, що забезпечує можливість розв'язання науково-прикладної задачі врахування суб'єктивізації сприйняття об'єкта людино-машинної взаємодії – суб'єктами цієї взаємодії, в моделях цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії. Крім того, розроблена компонента дає змогу підвищити потенціал та отримати подальший розвиток моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії завдяки розширенню їх концептуального призначення та функціональних можливостей, досліджуючи процеси не лише людино-машинної взаємодії, але й, додатково, проблематику сприйняття об'єктів людино-машинної взаємодії – самими суб'єктами цієї взаємодії.

Основу розробленої компоненти складають: концептуальна модель, що повністю відображає ключові принципи її структуру та інтегративних властивостей і механізмів; базова математична модель, особливість якої полягає в її максимальній універсальності, реалізованій за допомогою додатково розробленої універсальної моделі цифрового двійника будь-якого суб'єкта людино-машинної взаємодії, як і, впринципі, будь-якої міжсуб'єктної взаємодії взагалі; а також відповідний спеціалізований алгоритм синтезу даної компоненти в межах як існуючих, так і потенційних, моделей людино-машинної взаємодії.

Здійснено апробацію розробленої компоненти на прикладі розв'язання практичної задачі ідентифікації максимально сумісних суб'єктів серед числа існуючих в рамках досліджуваної людино-машинної взаємодії, що підтверджує її дієвість та ефективність при розв'язанні даного типу прикладних практичних задач, як і інших релевантних задач дослідження процесів суб'єктивізації сприйняття об'єктів (або, в загальному випадку: будь-яких сутностей) – суб'єктами людино-машинної взаємодії, та інтеграції цих процесів у моделі цифрових двійників даних суб'єктів.

В якості перспективи подальших досліджень бачимо потенційні можливості щодо вдосконалення та застосування розробленої компоненти в області синтезу повноцінних спеціалізованих моделей цифрового двійника суб'єктів людино-машинної взаємодії, особливістю яких буде врахування процесів суб'єктивізації сприйняття ще на ранніх етапах проектування, що забезпечить можливість більш глибокої пенетрації даних процесів у фундаментальні базові принципи функціонування моделей даного класу, вдосконалюючи, тим самим, їх потенціал для більш ґрунтового дослідження науково-прикладної проблематики автоматизації й інтелектуалізації як

людино-машинної взаємодії, так і найрізноманітніших типів міжсуб'єктної взаємодії в цілому, виходячи далеко за рамки даної предметної області, та охоплюючи й інші області, до прикладу такі як: соціоніка, соціальна інженерія, психологічна кібернетика, та інші.

Література

1. Ghim Y.-G. Allocated Flow Diagramming: A Structured Process and Methods for Teaching Interactive Product Prototyping in Industrial Design / Y.-G. Ghim // Archives of Design Research. – 2021. – №34(4). – pp. 7–21. – DOI: 10.15187/adr.2021.11.34.4.7
2. Schenda H. Dynamische Bediensituationen Eine systemtheoretische Einordnung / H. Schenda // trans-kom ist eine wissenschaftliche Zeitschrift für Translation und Fachkommunikation. – 2024. – №17(2). – 215-235. – URL: https://www.researchgate.net/publication/386500549_Dynamische_Bediensituationen_-_eine_systemtheoretische_Einordnung
3. Schenda H. Mikroprozesse der Bediensituation : Mit einer englischsprachigen Zusammenfassung with an English Summary / H. Schenda // In Frank & Timme eBooks. – 2024. – 245 p. – DOI: 10.26530/20.500.12657/91006
4. Gulijk C. GRIP on robot safety with collaborating data-systems / C. Gulijk et al. // Proceedings of the 58th ESReDA seminar hosted online by the European Commission, Joint Research Centre, 15-16 June, 2021, Using Knowledge to Manage Risks and Threats: Practices and Challenges. – 2021. – pp. 73-78. – DOI: 10.2760/443612
5. Wouter M.P. Modelling Human-robot Interaction to Optimize their Safety, Sustainability and Efficiency: Identifying Relevant Characteristics / M.P. Wouter, S.J. van Oosterhout, J. Willemsen & A. Jansen // Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference. – 2020. – pp. 2571–2577. – DOI: 10.3850/978-981-14-8593-0_4059-cd
6. Adekola F. Digital Twin Technology: A Tool in Computer Engineering Task - A Review / F. Adekola et al. // American Journal of Computer Engineering. – 2024. – №12(15) . – pp. 1-7. – URL: https://www.researchgate.net/publication/388955822_Digital_Twin_Technology_A_Tool_in_Computer_Engineering_Task_-_A_Review
7. Dingli A. Interacting with Intelligent Digital Twins / A. Dingli, F. Haddod // Lecture Notes in Computer Science. – 2019. – pp. 3–15. – DOI: 10.1007/978-3-030-23541-3_1
8. Chen Y. Review of research and application on digital twin technology / Y. Chen // Advances in Computer and Engineering Technology Research. – 2024. – №1(4) . – pp. 404-409. – DOI: 10.61935/acetr.4.1.2024.p404
9. Melesse T. Y. Digital Twin Models in Industrial Operations: A Systematic Literature Review / T.Y. Melesse, V.D. Pasquale, S. Riemma // Procedia Manufacturing. – 2020. – №42. – pp. 267–272. – DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.084
10. Xu J. Developing a digital twin model for monitoring building structural health by combining a building information model and a real-scene 3D model / J. Xu, X. Shu, P. Qiao, S. Li // Measurement. – 2023. – №217(112955). – DOI: 10.1016/j.measurement.2023.112955
11. Subramanian B. Digital Twin Model: A Real-Time Emotion Recognition System for Personalized Healthcare / B. Subramanian, J. Kim, M. Marray, A. Paul // IEEE Access. – 2022. – №10. – pp. 81155–81165. – DOI: 10.1109/access.2022.3193941
12. Pukach, A. I. Method of forming multifactor portraits of the subjects supporting software complexes, using a multilayer perceptron / A.I. Pukach, V.M. Teslyuk // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2025. – №1. – pp. 130–141. – DOI: 10.15588/1607-3274-2025-1-12

References

1. Ghim Y.-G. Allocated Flow Diagramming: A Structured Process and Methods for Teaching Interactive Product Prototyping in Industrial Design / Y.-G. Ghim // Archives of Design Research. – 2021. – №34(4). – pp. 7–21. – DOI: 10.15187/adr.2021.11.34.4.7
2. Schenda H. Dynamische Bediensituationen Eine systemtheoretische Einordnung / H. Schenda // trans-kom ist eine wissenschaftliche Zeitschrift für Translation und Fachkommunikation. – 2024. – №17(2). – 215-235. – URL: https://www.researchgate.net/publication/386500549_Dynamische_Bediensituationen_-_eine_systemtheoretische_Einordnung
3. Schenda H. Mikroprozesse der Bediensituation : Mit einer englischsprachigen Zusammenfassung with an English Summary / H. Schenda // In Frank & Timme eBooks. – 2024. – 245 p. – DOI: 10.26530/20.500.12657/91006
4. Gulijk C. GRIP on robot safety with collaborating data-systems / C. Gulijk et al. // Proceedings of the 58th ESReDA seminar hosted online by the European Commission, Joint Research Centre, 15-16 June, 2021, Using Knowledge to Manage Risks and Threats: Practices and Challenges. – 2021. – pp. 73-78. – DOI: 10.2760/443612
5. Wouter M.P. Modelling Human-robot Interaction to Optimize their Safety, Sustainability and Efficiency: Identifying Relevant Characteristics / M.P. Wouter, S.J. van Oosterhout, J. Willemsen & A. Jansen // Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference. – 2020. – pp. 2571–2577. – DOI: 10.3850/978-981-14-8593-0_4059-cd
6. Adekola F. Digital Twin Technology: A Tool in Computer Engineering Task - A Review / F. Adekola et al. // American Journal of Computer Engineering. – 2024. – №12(15) . – pp. 1-7. – URL: https://www.researchgate.net/publication/388955822_Digital_Twin_Technology_A_Tool_in_Computer_Engineering_Task_-_A_Review
7. Dingli A. Interacting with Intelligent Digital Twins / A. Dingli, F. Haddod // Lecture Notes in Computer Science. – 2019. –

pp. 3–15. – DOI: 10.1007/978-3-030-23541-3_1

8. Chen Y. Review of research and application on digital twin technology / Y. Chen // *Advances in Computer and Engineering Technology Research*. – 2024. – №1(4) . – pp. 404-409. – DOI: 10.61935/acetr.4.1.2024.p404

9. Melesse T. Y. Digital Twin Models in Industrial Operations: A Systematic Literature Review / T.Y. Melesse, V.D. Pasquale, S. Riemma // *Procedia Manufacturing*. – 2020. – №42. – pp. 267–272. – DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.084

10. Xu J. Developing a digital twin model for monitoring building structural health by combining a building information model and a real-scene 3D model / J. Xu, X. Shu, P. Qiao, S. Li // *Measurement*. – 2023. – №217(112955). – DOI: 10.1016/j.measurement.2023.112955

11. Subramanian B. Digital Twin Model: A Real-Time Emotion Recognition System for Personalized Healthcare / B. Subramanian, J. Kim, M. Marray, A. Paul // *IEEE Access*. – 2022. – №10. – pp. 81155–81165. – DOI: 10.1109/access.2022.3193941

12. Pukach, A. I. Method of forming multifactor portraits of the subjects supporting software complexes, using a multilayer perceptron / A.I. Pukach, V.M. Teslyuk // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. – 2025. – №1. – pp. 130–141. – DOI: 10.15588/1607-3274-2025-1-12