

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-85-9>

УДК 004.896:004.62

КАНАРСЬКИЙ Євгеній

Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут"

<https://orcid.org/0000-0001-9066-8642>

e-mail: [y.kanarskiy@csn.khai.edu](mailto:y.kanarskiy@csn.khai.edu)

ОРЕХОВ Олександр

Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут"

<https://orcid.org/0000-0001-6957-1934>

e-mail: [a.orehov@csn.khai.edu](mailto:a.orehov@csn.khai.edu)

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ІНТЕРФЕЙСІВ ЛЮДИНО-МАШИНОЇ ВЗАЄМОДІЇ НА ОСНОВІ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ БЕЗПЛОТНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ

У статті розглянуто задачу оцінювання якості інтерфейсів людино-машинної взаємодії (Human-Machine Interaction, HMI) на основі доповненої реальності у складі безпілотних систем моніторингу потенційно небезпечних територій. Показано, що існуючі підходи до оцінювання інтерфейсів доповненої реальності (Augmented Reality, AR) переважно ґрунтуються на суб'єктивних показниках зручності та користувацького досвіду й не забезпечують кількісного зв'язку між характеристиками інтерфейсу та показниками готовності системи в цілому.

Запропоновано інформаційну технологію та методіку оцінювання якості AR-орієнтованих інтерфейсів людино-машинної взаємодії, що базується на поєднанні експертного оцінювання характеристик якості та формалізованого моделювання готовності системи з використанням одно- та багаточасткових марковських моделей. Методика враховує реактивність і безпомилковість дій операторів, часткові відмови елементів системи та наявність резервних безпілотних апаратів.

Розроблену методіку формалізовано у вигляді функціональної моделі IDEFO, що забезпечує структурований опис процесів формування вимог до інтерфейсів, визначення характеристик якості, розрахунку показника готовності системи та формування рекомендацій щодо вдосконалення AR-інтерфейсів. Запропонований підхід дозволяє кількісно оцінювати вплив параметрів AR-інтерфейсу на готовність та надійність безпілотних систем моніторингу і може бути використаний на етапах проектування та експлуатації таких систем.

Ключові слова: оцінювання якості, людино-машинна взаємодія, доповнена реальність, моніторинг, безпілотні системи.

KANARSKYI Yevhenii, OREHOV Oleksandr

National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"

## INFORMATION TECHNOLOGY FOR QUALITY ASSESSMENT OF AUGMENTED REALITY-BASED HUMAN-MACHINE INTERFACES IN UNMANNED MONITORING SYSTEMS

The Scientific Center of the Air Force is a key research unit of the Ivan Kozhedub Kharkiv National University of Air Forces, the principal higher military educational and scientific institution of the Armed Forces of Ukraine. The Center carries out fundamental and applied research aimed at supporting the development, modernization, and effective operational use of Air Force weapons, military equipment, and advanced information technologies.

The main mission of the Scientific Center is to provide comprehensive scientific and methodological support for the Air Force, ensuring the integration of research results into education, training, and practical military activities. Its research covers air defence systems, aviation engineering, radar and radio-technical troops, automated command and control systems, military information and measurement technologies, and simulation-based training complexes.

Particular attention is paid to the study of complex human-machine systems, including unmanned aerial and ground platforms, decision support tools, and operator-oriented interface technologies. The Center develops mathematical and simulation models to assess reliability, readiness, survivability, and operational effectiveness, taking into account human factors, system failures, redundancy, and dynamic mission conditions.

Modern research directions include the application of artificial intelligence methods, data analysis, augmented and virtual reality technologies for operator support and training, as well as digital twins and modeling environments for mission planning and system evaluation. The Center also conducts experimental validation, prepares analytical reports and technical recommendations, and participates in national and international scientific and technical projects.

The Scientific Center publishes its results in peer-reviewed journals and conference proceedings and contributes to the training of highly qualified officers, engineers, and researchers for the Air Force and the defense sector of Ukraine.

Keywords: quality assessment, human-machine interaction, augmented reality, monitoring, unmanned systems.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.01.2026

Прийнята до друку / Accepted 20.02.2026

Опубліковано / Published 05.03.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Канарський Євгеній, Орехов Олександр

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Системи моніторингу потенційно небезпечних територій із використанням безпілотних літальних апаратів все ширше застосовуються для виконання задач спостереження, виявлення загроз та підтримки прийняття рішень в умовах обмеженого часу та підвищеного ризику. Ефективність функціонування таких систем значною мірою визначається якістю інтерфейсів людино-машинної взаємодії, зокрема на основі доповненої реальності, які безпосередньо впливають на швидкість, точність і безпомилковість дій оператора.

Водночас існуючі підходи до оцінювання AR-орієнтованих інтерфейсів переважно зосереджені на суб'єктивних показниках зручності та користувацького досвіду і не забезпечують кількісного зв'язку між характеристиками інтерфейсу та функціональними показниками готовності й надійності системи моніторингу в цілому. Відсутність формалізованих методів, які враховують дії оператора, часткові відмови елементів системи та наявність резервних безпілотних апаратів, ускладнює обґрунтований вибір параметрів AR-інтерфейсів на етапах проектування та експлуатації.

У зв'язку з цим актуальною є задача розроблення методики оцінювання якості інтерфейсів людино-машинної взаємодії на основі доповненої реальності, яка б дозволяла кількісно оцінювати їх вплив на показники готовності систем моніторингу потенційно небезпечних територій та забезпечувати відповідність заданим вимогам.

## АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Для даної роботи було досліджено публікації, в яких описуються принципи функціонування систем моніторингу, а також вимоги до розроблення та оцінювання якості людино-машинних інтерфейсів.

Принципи розроблення та функціонування систем моніторингу з використанням безпілотних платформ детально розглядаються у працях [1-4]. У роботі [1] проаналізовано архітектуру перспективних систем моніторингу на основі безпілотних літальних апаратів (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) і периферійних обчислень, а також оцінено їхню надійність у міських умовах. Дослідження [2] присвячене концепції та структурі роботизованих систем для виявлення небезпечних об'єктів, зокрема з урахуванням взаємодії оператора з технічними засобами. У статті [3] узагальнено підходи до застосування UAV для завдань спостереження та екологічного моніторингу, що підтверджує доцільність їх використання у потенційно небезпечних середовищах. Робота [4] демонструє практичні аспекти інтеграції AR в системи підтримки операторів під час виконання спеціалізованих завдань моніторингу та ідентифікації об'єктів.

Вимоги до якості людино-машинних інтерфейсів визначаються як у міжнародних стандартах, так і в сучасних наукових дослідженнях [5-12]. Стандарт ISO/IEC 25010 [5] формалізує модель якості програмних і системних продуктів, що включає характеристики зручності використання, надійності та ефективності. Стандарт IEEE P2048.1 [6] встановлює термінологію та класифікацію пристроїв віртуальної й доповненої реальності, що є базою для уніфікованого оцінювання AR-інтерфейсів. Керівні положення NUREG-0700 [7] містять детальні рекомендації щодо проектування та експертизи людино-машинних інтерфейсів у критичних системах. У наукових працях [8-12] досліджується ефективність AR-інтерфейсів з позицій продуктивності оператора, користувацького досвіду та ситуаційної обізнаності, а також пропонуються підходи до експериментального та користувацько-орієнтованого оцінювання якості таких інтерфейсів.

Вимоги до процесу розроблення інтерфейсів НМІ регламентуються стандартами [13, 14] та підтримуються результатами наукових досліджень [15]. Стандарт ISO 9241-210 [13] визначає принципи людино-центричного проектування інтерактивних систем, зокрема необхідність урахування контексту використання та залучення користувачів на всіх етапах життєвого циклу. Стандарт ISO/IEC 25041 [14] надає методичні рекомендації щодо оцінювання якості систем і програмних засобів на етапах розроблення та впровадження. Практичну реалізацію зазначених принципів у середовищі доповненої реальності для задач НМІ представлено у роботі [15], де показано вплив інтерфейсних рішень на ефективність спільної діяльності оператора та технічної системи.

На підставі аналізу публікацій можемо зазначити, що опрацьованим залишається питання комплексного кількісного оцінювання впливу AR-орієнтованих людино-машинних інтерфейсів на системні показники готовності та надійності моніторингових систем з урахуванням дій оператора, часткових відмов і резервування UAV та наземних безпілотних апаратів (Unmanned Ground Vehicles, UGV). Це зумовлює необхідність формулювання відповідної наукової проблеми та розроблення узагальненого методу її розв'язання, що вже частково було зроблено авторами даної статті у роботах [16-18].

## ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є розроблення інформаційної технології оцінювання якості AR-інтерфейсів людино-машинної взаємодії у складі безпілотних систем моніторингу потенційно небезпечних територій. Запропонований підхід спрямований на подолання обмежень наявних методів, що переважно базуються на суб'єктивних показниках користувацького досвіду, та забезпечує кількісне визначення впливу характеристик інтерфейсу на показники готовності й надійності системи в цілому. Для досягнення цієї мети у статті

поєднуються експертне оцінювання показників якості інтерфейсів із формалізованим моделюванням функціонування системи на основі одно- та багатофрагментних марковських моделей, з урахуванням реактивності й безпомилковості дій оператора, можливих часткових відмов елементів та наявності резервних безпілотних апаратів. Це дозволяє сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо проектування та вдосконалення AR-інтерфейсів на етапах розроблення і експлуатації безпілотних систем моніторингу.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На рисунку 1 представлено процес оцінювання якості інтерфейсів людино-машинної взаємодії на основі доповненої реальності для безпілотних систем моніторингу потенційно небезпечних територій формалізовано у вигляді IDEF0-діаграми верхнього рівня A0. Діаграма відображає узагальнену функцію оцінювання якості AR-інтерфейсів та визначає основні інформаційні потоки, керувальні впливи, механізми реалізації й результати процесу.

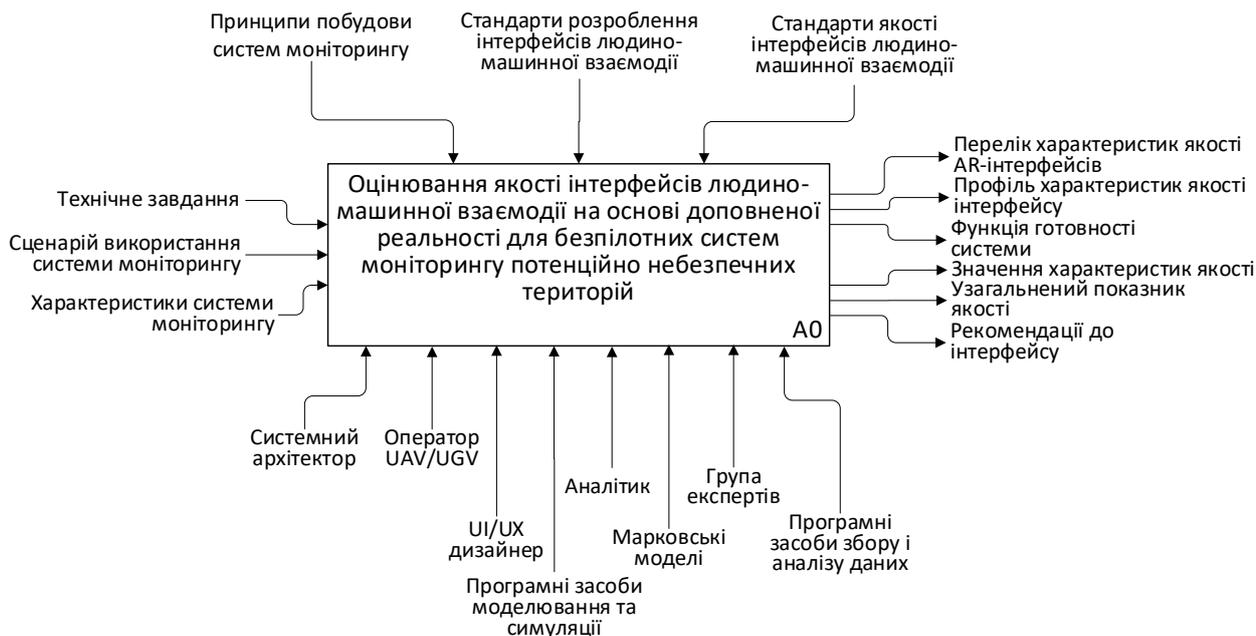


Рис. 1. Модель процесу рівня A0

Вхідними параметрами моделі є технічне завдання на систему моніторингу, сценарії її використання та характеристики оператора, які визначають умови функціонування інтерфейсу та вимоги до його ергономіки й функціональності. Керувальними впливами виступають принципи побудови систем моніторингу, а також стандарти розроблення та якості інтерфейсів людино-машинної взаємодії, що задають нормативні обмеження та критерії оцінювання.

Механізми реалізації включають людські та програмно-технічні ресурси, зокрема системного архітектора, оператора UAV/UGV, дизайнера користувацьких інтерфейсів (User Interface, UI)/користувацького досвіду (User Experience, UX), аналітика та групу експертів, а також програмні засоби моделювання, симуляції, збору й аналізу даних. Для формалізованого опису динаміки функціонування системи та оцінювання її готовності застосовуються марковські моделі.

Вихідними результатами процесу є перелік і профіль характеристик якості AR-інтерфейсів, функція готовності системи, кількісні значення характеристик якості та узагальнений показник якості. На основі отриманих результатів формуються рекомендації щодо вдосконалення AR-орієнтованих інтерфейсів НМІ.

Таким чином, IDEF0-модель рівня A0 слугує концептуальною основою методики оцінювання, забезпечуючи системне поєднання нормативних вимог, експертних знань і формалізованих математичних моделей для кількісного аналізу впливу AR-інтерфейсів на готовність і ефективність безпілотних систем моніторингу.

На рисунку 2 представлено декомпозицію IDEF0-діаграми рівня A0 до рівня A1. Модель відображає логічну послідовність та взаємозв'язок трьох підпроцесів, що забезпечують перехід від аналізу вихідних умов до формування узагальнених показників якості та рекомендацій щодо вдосконалення AR-інтерфейсів.

Перший підпроцес «Аналіз вхідних архітектурних рішень» спрямований на опрацювання технічного завдання, сценаріїв використання системи моніторингу та характеристик її функціональних елементів. У межах цього етапу враховуються принципи побудови систем моніторингу, вимоги до людино-машинної взаємодії та початкові архітектурні обмеження. Результати аналізу формують основу для подальшого

розроблення методів оцінювання, зокрема шляхом визначення релевантних параметрів системи та ролі оператора в контурі керування.

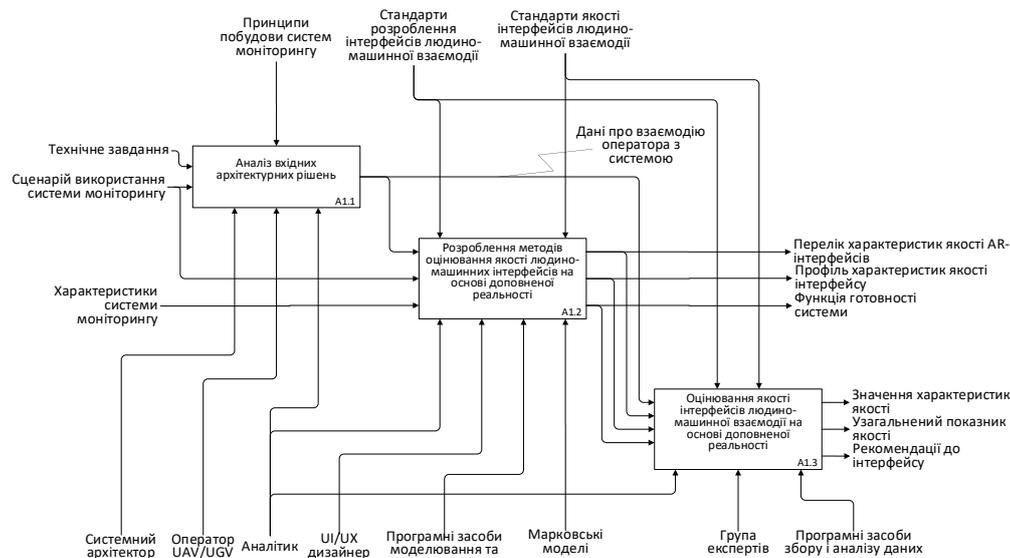


Рис. 2. Модель процесу оцінювання якості AR-інтерфейсів безпілотних систем моніторингу

Другий підпроцес «Розроблення методів оцінювання якості людино-машинних інтерфейсів на основі доповненої реальності» передбачає формування переліку характеристик якості AR-інтерфейсів та побудову профілю їхніх показників з урахуванням стандартів розроблення та якості HMI. На цьому етапі використовуються дані про взаємодію оператора з системою, результати аналітичних досліджень, а також інструменти моделювання і симуляції. Окрему роль відіграють марковські моделі, які забезпечують формалізований опис впливу параметрів інтерфейсу та дій оператора на показник готовності системи моніторингу.

Підпроцес «Оцінювання якості інтерфейсів людино-машинної взаємодії на основі доповненої реальності» здійснює безпосереднє оцінювання якості AR-інтерфейсів із використанням розробленого методу. Процес включає експертне оцінювання характеристик якості, обчислення функції готовності системи, визначення кількісних значень показників та формування узагальненого інтегрованого показника якості. До механізмів реалізації належать група експертів, аналітик, програмні засоби збору та аналізу даних. Результатом етапу є формування рекомендацій щодо вдосконалення інтерфейсів HMI на основі AR.

На рисунку 3 детально описується процес формування та підготовки даних про взаємодію оператора з системою моніторингу потенційно небезпечних територій. Модель відображає послідовність аналітичних підпроцесів, спрямованих на систематизацію архітектурних рішень, аналіз сценаріїв взаємодії та підготовку вхідних даних для подальшого оцінювання якості HMI. Даний процес можна розбити на три етапи.

Перший етап виконується на основі технічного завдання, сценаріїв використання системи та принципів побудови систем моніторингу. У межах цього етапу системним архітектором і аналітиком формується структурований перелік апаратних, програмних та інформаційних компонентів системи, а також встановлюються їхні функціональні ролі у процесі взаємодії з оператором. Результатом є формалізоване подання архітектури системи, необхідне для подальшого аналізу взаємодії людини з технічними засобами.

Другий етап передбачає дослідження дій оператора UAV/UGV у різних режимах функціонування системи з урахуванням її теоретико-множинної моделі та класифікатора станів. На цьому етапі здійснюється ідентифікація типових та критичних сценаріїв взаємодії, визначення переходів між станами системи та ролі інтерфейсу у підтримці прийняття рішень оператором. Отримані результати дозволяють формалізувати поведінку системи та оператора в контексті людино-машинної взаємодії.

Завершальний етап спрямований на узагальнення та структурування результатів аналізу сценаріїв взаємодії. На цьому етапі формуються набори даних про дії оператора, реакції системи та умови функціонування, які можуть бути використані як вхідні дані для моделей оцінювання якості інтерфейсів, розрахунку показників готовності та подальшого експертного оцінювання. Виходом підпроцесу є підготовлені та уніфіковані дані про взаємодію оператора з системою.

Після аналізу вхідних архітектурних рішень, наступним процесом є розроблення методів оцінювання якості людино-машинних інтерфейсів на основі доповненої реальності, що модель якого продемонстровано на рисунку 4.

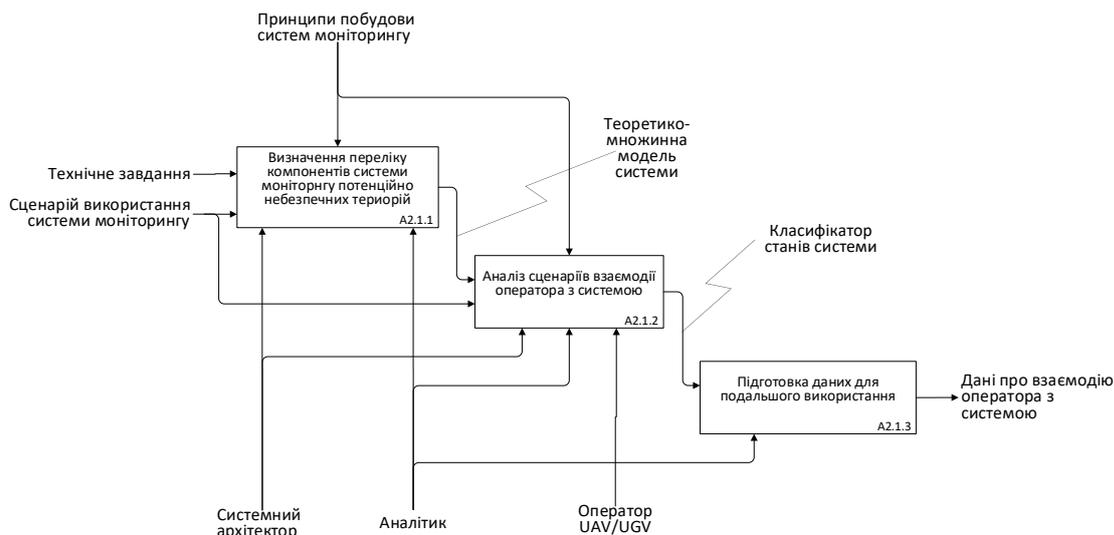


Рис. 3. Модель процесу аналізу вхідних архітектурних рішень

На першому етапі здійснюється визначення переліку характеристик якості AR-інтерфейсу. Вхідними даними є AR-інтерфейс системи моніторингу, сценарії використання та характеристики системи. Керувальними впливами виступають стандарти розроблення та стандарти якості інтерфейсів HMI. У результаті формується структурований перелік характеристик якості AR-інтерфейсів, що слугує основою для подальшого оцінювання.

На другому етапі на основі визначених характеристик формується профіль характеристик якості AR-інтерфейсів людино-машинної взаємодії. У межах цього процесу відбираються та формалізуються релевантні характеристики, що відображають ергономічні, когнітивні, функціональні та інші властивості AR-інтерфейсу. При цьому враховуються характеристики системи та вимоги стандартів якості HMI. Результатом є структурований перелік характеристик якості AR-інтерфейсу, придатний для подальшого кількісного аналізу.

Окремо виконується оцінювання впливу характеристик AR-інтерфейсу на готовність системи моніторингу. Вхідними даними цього підпроцесу є сформований профіль характеристик якості, характеристики оператора та результати попередніх етапів. Для кількісного аналізу використовується математичний апарат, зокрема марковські одно- та багатофрагментні моделі, що дозволяють врахувати дії оператора, часткові відмови та динаміку станів системи. Результатом підпроцесу є функція готовності системи моніторингу, яка відображає інтегральний ефект використання AR-орієнтованих інтерфейсів.

Таким чином, представлена IDEF0-модель формалізує послідовний перехід від формування вимог до якості AR-інтерфейсів через визначення їх характеристик до кількісного оцінювання готовності системи моніторингу. Такий підхід забезпечує інтеграцію показників якості людино-машинної взаємодії з формальними моделями готовності та дозволяє обґрунтовано аналізувати вплив доповненої реальності на функціонування систем у цілому.

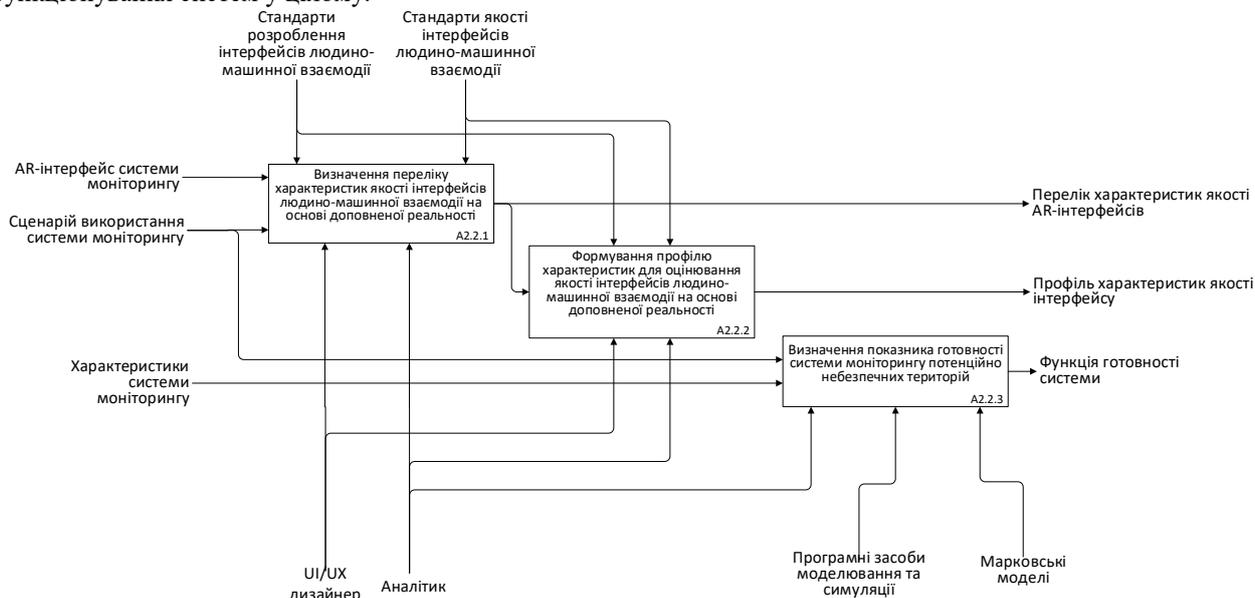


Рис. 4. Модель процесу розроблення методів оцінювання якості HMI на основі AR

Після формування вимог до якості AR-інтерфейсів, можна переходити до процесу оцінювання попередньо розробленого інтерфейсу. Даний процес описано на рисунку 5.

На першому етапі здійснюється експертне оцінювання якості інтерфейсів НМІ на основі AR. Вхідними даними є AR-інтерфейс системи моніторингу, профіль вимог до інтерфейсів та визначені характеристики їх якості. Оцінювання проводиться групою експертів із використанням стандартизованих підходів до НМІ та AR-інтерфейсів, а також засобів збору й аналізу даних. Результатом є кількісні значення характеристик якості AR-інтерфейсів.

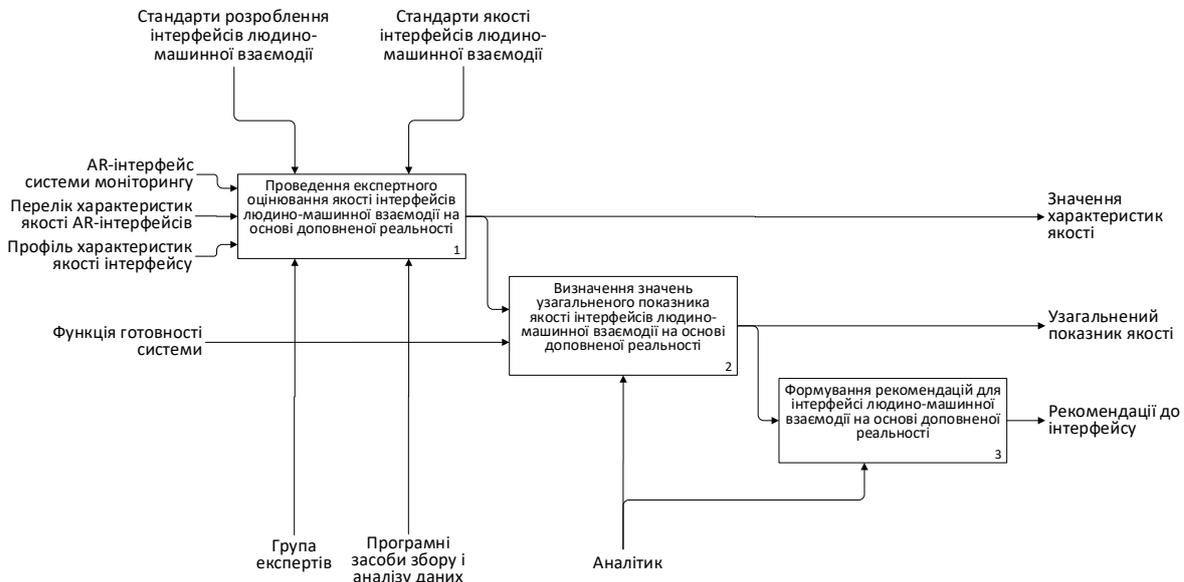


Рис. 5. Модель процесу оцінювання якості НМІ на основі AR

На основі результатів експертного оцінювання та розрахованої функції готовності системи здійснюється визначення узагальненого показника якості інтерфейсів НМІ на основі AR. У межах цього процесу виконується агрегування окремих характеристик якості, що відображають ергономічні, когнітивні та експлуатаційні властивості AR-інтерфейсу, з урахуванням їх відносної вагомості та ступеня впливу на показники готовності й надійності системи моніторингу. Вагові коефіцієнти характеристик формуються на основі експертних оцінок та результатів моделювання, що забезпечує узгодженість суб'єктивних і формалізованих складових оцінювання. Отриманий узагальнений показник якості дозволяє кількісно оцінити ефективність AR-інтерфейсу в контексті функціонування всієї системи, а також слугує основою для порівняльного аналізу альтернативних UI/UX рішень і прийняття обґрунтованих рішень щодо їх подальшого удосконалення.

На завершальному етапі на основі узагальненого показника якості та результатів аналітичної обробки формуються рекомендації щодо вдосконалення інтерфейсів НМІ на основі AR. Рекомендації спрямовані на підвищення ергономічних, когнітивних і функціональних характеристик інтерфейсу та, відповідно, на покращення готовності й надійності системи моніторингу в цілому.

Запропонована послідовність забезпечує послідовний перехід від експертного оцінювання характеристик якості AR-інтерфейсів до формування інтегрованого показника та практичних рекомендацій щодо їх удосконалення. Такий підхід дозволяє поєднати суб'єктивні експертні судження з формалізованими показниками готовності системи та забезпечує науково обґрунтовану оцінку впливу AR-інтерфейсів на ефективність систем моніторингу.

### ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

У статті запропоновано інформаційну технологію та методику оцінювання якості AR-орієнтованих інтерфейсів НМІ, що поєднує експертне оцінювання характеристик якості з формалізованим моделюванням готовності системи на основі одно- та багатоточкових марковських моделей. На відміну від відомих підходів, методика враховує реактивність і безпомилковість дій операторів, часткові відмови компонентів системи та наявність резервних безпілотних апаратів.

Методику формалізовано у вигляді ієрархічної IDEF0-моделі, що забезпечує цілісний і структурований опис процесів формування вимог до AR-інтерфейсів, визначення характеристик якості, обчислення показника готовності системи та формування рекомендацій щодо вдосконалення UI/UX. Це

дозволяє здійснювати аналіз впливу параметрів UI/UX на функцію готовності та обґрунтований вибір їх значень для забезпечення заданих вимог до системи моніторингу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування запропонованої методики на етапах проєктування, модернізації та експлуатації безпілотних систем моніторингу небезпечних територій з AR-орієнтованими інтерфейсами НМІ.

Перспективи подальших досліджень полягають у проведенні практичних експериментів із використанням реальних технічних комплексів з метою підтвердження ефективності запропонованого підходу, а також у поглибленні та деталізації переліку характеристик якості AR-інтерфейсів з урахуванням особливостей умов експлуатації. Окремий напрям подальшої роботи пов'язаний з удосконаленням і масштабуванням розробленої методики для застосування в системах керування групами UAV/UGV та в умовах одночасної взаємодії кількох операторів, що потребує врахування додаткових факторів координації, інформаційного навантаження та узгодженості дій.

## References

1. Fesenko H., Illiashenko O., Kharchenko V., Kliushnikov I., Morozova O., Sachenko A., Skorobohatko S. Flying Sensor and Edge Network-Based Advanced Air Mobility Systems: Reliability Analysis and Applications for Urban Monitoring // Drones. – 2023. – Vol. 7, № 409. <https://doi.org/10.3390/drones7070409>
2. Fedorenko G., Fesenko H., Kharchenko V., Kliushnikov I., Tolkunov I. Robotic-biological systems for detection and identification of explosive ordnance: concept, general structure, and models // Radioelectronic and Computer Systems. – 2023. – № 2. – P. 143–159. <https://doi.org/10.32620/reks.2023.2.12>
3. Sharma S., Muley A., Singh R., Gehlot A. UAV for Surveillance and Environmental Monitoring // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9, Iss. 43. – P. 1–4. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i43/104396>
4. Hameed Q. A., Hussein H. A., Ahmed M. A., Salih M. M., Ismael R. D., Omar M. B. UXO-AID: A New UXO Classification Application Based on Augmented Reality to Assist Deminers // Computers. – 2022. – Vol. 11, Iss. 8. – Article №124. <https://doi.org/10.3390/computers11080124>
5. ISO/IEC 25010:2023 Systems and software engineering — System and software quality models. – Geneva: International Organization for Standardization, 2023.
6. IEEE P2048.1:2024 Standard for Virtual and Augmented Reality: Device Taxonomy and Definitions. – New York: IEEE, 2024.
7. NUREG-0700, Rev. 3. Human–System Interface Design Review Guidelines. – Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2020.
8. Sermarini J., Maraj C., Walters L. C., Mouloua M., Kider J. T. Evaluating the Effectiveness of Augmented Reality Interfaces for Quadrupedal Robot Motion Control // Proceedings of the 2025 ACM Symposium on Spatial User Interaction (SUI '25). – New York: ACM, 2025. – Article №17. – P. 1–12. <https://doi.org/10.1145/3694907.3765931>
9. Hamacher A., Hafeez J., Csizmazia R., Whangbo T. K. Augmented Reality User Interface Evaluation – Performance Measurement of HoloLens, Moverio and Mouse Input // International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM). – 2019. – Vol. 13, Iss. 3. – P. 95–107. <https://doi.org/10.3991/ijim.v13i03.10226>
10. Graser S., Kirschenlohr F., Böhm S. User Experience Evaluation of Augmented Reality: A Systematic Literature Review [Електронний ресурс]. – arXiv, 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.12777>
11. Picardi A., Caruso G. User-Centered Evaluation Framework to Support the Interaction Design for Augmented Reality Applications // Multimodal Technologies and Interaction. – 2024. – Vol. 8, Iss. 5. <https://doi.org/10.3390/mti8050041>
12. Chu C.-H., Liu Y.-L. Augmented Reality User Interface Design and Experimental Evaluation for Human–Robot Collaborative Assembly // Journal of Manufacturing Systems. – 2023. – Vol. 68. – P. 313–324. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.04.007>
13. ISO/IEC 9241-210:2019 Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems. – Geneva: International Organization for Standardization, 2019.
14. ISO/IEC 25041:2012 Systems and software engineering — Systems and software quality requirements and evaluation (SQuARE) — Evaluation guide for developers, acquirers and independent evaluators. – Geneva: International Organization for Standardization, 2012.
15. Chan W. P., Croft M. J. Design and Evaluation of an Augmented Reality Head-Mounted Display Interface for Human–Robot Teams Collaborating in Physically Shared Manufacturing Tasks // ACM Transactions on Human-Robot Interaction. – 2022. – Vol. 11, № 3. – P. 1–19. – DOI: <https://doi.org/10.1145/3524082>
16. Kanarskyi Y., Kharchenko V., Kliushnikov I., Orekhov O., Ponochovnyy Y., Stadnyk A. Models of Availability Assessing UAV-based Systems for Monitoring Dangerous Space Considering Human Machine Interface with Embedded AR // Proceedings of the 2025 IEEE 13th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). – Gliwice, Poland, 2025. – P. 1421–1426. <https://doi.org/10.1109/IDAACS68557.2025.11322273>
17. Kanarskyi, Y., Kharchenko, V., Orekhov, O. & Ponochovnyi, Y. Markov modelling of human-machine interaction in an augmented reality environment for UAV/UGV-based hazardous area monitoring systems // Radioelectronic and Computer Systems. – 2025. – № 4. – P. 35–54 – DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2025.4.03>
18. Канарський Є., Орехов О. Експертне оцінювання критеріїв якості людино-машинних інтерфейсів доповненої реальності // Автоматизовані системи управління та прилади автоматики. – 2025. – № 187. – С. 87–102. <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2025.187.087>