

# КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ВІЗУАЛЬНОГО ІНТЕРФЕЙСУ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ ДИНАМІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Олексій Губський, Ігор Попов, Олександр Бушма

---

*Анотація.* Підвищення складності систем віддаленого керування потребують визначення критеріїв оцінки візуальних людино-машинних інтерфейсів. Визначено шість базових критеріїв та їх декомпозицію, що дозволяє отримати об'єктивну оцінку ефективності віддаленого керування динамічними об'єктами. Формалізація цієї структури закладає підґрунтя для розробки універсальних інтегральних метрик та формує науково-методичну базу для подальшого моделювання людино-машинних інтерфейсів.

**Ключові слова:** віддалене керування, інтерфейс користувача, класифікація, динамічний об'єкт.

---

## I. ВСТУП

Розвиток віддаленого керування динамічними об'єктами (ДО) характеризується стрімким впровадженням інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та мультимодальних засобів візуалізації. Незважаючи на значний технологічний прогрес, більшість рішень у сфері проектування людино-машинних інтерфейсів (ЛМІ) все ще базуються на інтуїтивних дизайнерських підходах або вузькоспеціалізованих стандартах, які не повною мірою враховують комплексну динаміку когнітивного навантаження оператора. Це зумовлює потребу у переході від фрагментарних оцінок до уніфікованих підходів, що дозволяє створити формалізовану базу порівняльного аналізу.

Підвищення складності систем керування ДО супроводжується зростанням обсягів візуальної інформації, тоді як психофізіологічні можливості оператора залишаються обмеженими. Це загострює суперечність між інформаційною насиченістю інтерфейсу та здатністю підтримувати ситуаційну обізнаність. Водночас у наявних підходах відсутній узгоджений комплекс критеріїв, який дозволяв би системно оцінювати вплив візуального ЛМІ на ефективність віддаленого керування. Тому актуальним є формування структурованої системи критеріїв і їх формалізація, що забезпечує об'єктивність аналізу та знижує суб'єктивність експертних суджень. Метою роботи є визначення ключових критеріїв оцінки візуального людино-машинного інтерфейсу, які впливають на ефективність віддаленого керування динамічними об'єктами.

## II. ДАНІ ТА МЕТОДИ

У дослідженні застосовано науковий інструментарій, що базується на аналізі технічних параметрів та експертних оцінок. Вхідними даними слугували технічні характеристики візуальних ЛМІ [1] та статистичні показники операторської діяльності, що відображають вплив візуальної уваги та когнітивного навантаження [2]. Також використано результати досліджень сприйняття візуальної інформації для проектування дизайну ЛМІ [3].

Методологічну основу роботи склали методи системного аналізу для структуризації підходів до керування життєвим циклом ЛМІ. Формування системи критеріїв оцінювання та узгодження графічних елементів із моделями ситуаційної обізнаності було використано теорію динамічних систем та принципи інженерної психології щодо продуктивності людини.

## III. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ

Визначення ключових критеріїв оцінювання здійснено через структурування узагальнених характеристик, які безпосередньо не піддаються експериментальному

вимірюванню. Їх декомпозиція на підкритерії з подальшим формуванням кількісних показників забезпечує перехід до системи вимірюваних параметрів.

Ключовим чинником пропонованого підходу є ергономіка (E), що характеризує відповідність інтерфейсу психофізіологічним можливостям оператора та визначає організацію елементів керування і читабельність інформації. Із нею безпосередньо пов'язане когнітивне навантаження (C), яке відображає інтенсивність розумових процесів і обсяг даних, що підлягають одночасній обробці. Операційний потенціал системи формалізується через автономність (A) та функціональну повноту (F): перша визначає рівень автоматизації керування, друга — достатність інструментальних засобів для реалізації повного циклу операцій. Характер взаємодії оператора з системою задається типом інтерфейсу (I), тоді як потреба в навчанні (L) відображає складність його опанування та часові витрати на досягнення професійної компетентності. Результуюча концептуальна ієрархічна структура для оцінки візуального інтерфейсу віддаленого керування ДО з шести критеріїв верхнього рівня та їх декомпозиція наведена на рис. 1.



Рисунок 1. Концептуальна ієрархічна структура оцінки візуального інтерфейсу

Критерій «Ергономіка (E)» характеризує якість та зручність візуальної комунікації. Його формалізовано через п'ять підкритеріїв: візуальна ієрархія ( $E_{vh}$ ), що забезпечує структуроване представлення інформації; інтуїтивність ( $E_{int}$ ), яка визначає швидкість засвоєння логіки інтерфейсу; кількість кліків ( $E_{cl}$ ) та час до виконання дії ( $E_{tm}$ ); а також наявність та якість зворотного зв'язку ( $E_{fb}$ ), що забезпечує підтвердження результатів дій. Ці підкритерії охоплюють повний цикл взаємодії та відповідають класичним підходам до ергономіки [2]. Психологічна напруга оператора формується з чинників втоми та перевантаження, з яких було сформовано другий рівень критерію «Когнітивне навантаження (C)». Він включає: суб'єктивне навантаження ( $C_{ld}$ ) для врахування індивідуального сприйняття складності та напруженості діяльності; кількість одночасних задач ( $C_{mt}$ ) як показник щільності інформаційних потоків, що потребують паралельної когнітивної обробки; а також рівень автоматизації рутинних операцій ( $C_{ar}$ ), який розглядається як ключовий механізм зниження перевантаження та підтримання ситуаційної обізнаності. Така декомпозиція охоплює об'єктивні параметри системної складності і суб'єктивні реакції, що відповідає сучасним концепціям теорії когнітивного навантаження. Це забезпечує можливість формування кількісної оцінки когнітивної складності взаємодії у ЛМІ [4].

Аналіз взаємодії в контурі «людина–машина» показав, що автономність системи керування формується як результат розподілу функцій між оператором та технічним

контуром управління. Критерій «Ступінь автономності (A)» визначається через зіставлення технологічних можливостей об'єкта та ролі людини в циклі прийняття рішень. Його декомпозиція здійснена за трьома ключовими підкритеріями: рівень автоматизації ( $A_{al}$ ), що характеризує здатність системи самостійно виконувати функції контролю та керування; кількість ручних дій ( $A_{mn}$ ), який відображає інтенсивність прямого втручання оператора в процес керування; та наявність автопілоту ( $A_{ap}$ ), що визначає можливість переходу об'єкта в режим автоматичного утримання параметрів руху. Запропонований набір підкритеріїв є достатнім для формального опису автономності, оскільки охоплює як програмну незалежність системи, так і фактичне навантаження на оператора в контурі керування [5].

Оцінка операційних можливостей ЛМІ дозволила виокремити критерій «Функціональна повнота (F)» з наступною декомпозицією: інтеграцію функцій ( $F_{in}$ ), що відображає здатність забезпечувати керування різнорідними підсистемами; зовнішніми засобами ( $F_{ex}$ ), які характеризують можливість взаємодії з додатковими пристроями, сенсорами та інформаційними базами; та автоматичними діями ( $F_{au}$ ), сфокусованими на підтримці комплексних сценаріїв управління. Така декомпозиція реалізує системно-інженерний підхід до формалізації і є достатньою для опису функціональної повноти, бо вона охоплює як внутрішні можливості системи керування, так й інтеграцію у ширший інформаційно-технологічний контур виконання місії [6].

Порівняльний аналіз архітектурних рішень показав, що технічна реалізація ЛМІ визначає функціональні межі його застосування та масштабованість. У межах цього було сформовано критерій «Тип інтерфейсу (I)», який відображає архітектурно-технологічні характеристики взаємодії людини з системою. Він узагальнює тип GUI ( $I_{ty}$ ), що описує парадигму подання інформації; кількість каналів введення ( $I_{in}$ ), яка характеризує технічні засоби комунікації з оператором та мультимодальність цієї взаємодії; а також мобільність ( $I_{mb}$ ), що відображає експлуатаційну гнучкість інтерфейсу. Результат їх інтеграції формує другий рівень моделі оцінювання ЛМІ, та є достатнім для формалізації типу інтерфейсу [7].

Аналіз ресурсних витрат на підготовку оператора засвідчив, що складність опанування ЛМІ є критичним фактором його практичної придатності до впровадження. Було сформовано критерій «Потреба в навчанні (L)», який відображає особливості процесу опанування інтерфейсу. Його декомпозиція реалізована як три підкритерії: час навчання ( $L_{tm}$ ) як кількісну міру тривалості досягнення компетентності; необхідність інструктора ( $L_{tr}$ ), що відповідає показнику автономності навчального процесу та рівню підтримки; а також складність інтерфейсу ( $L_{cx}$ ), пов'язаною зі засвоєнням. Критерій потреби в навчанні відображає не лише людський фактор, але й організаційно-економічні аспекти впровадження інтерфейсу [8].

#### IV. ОБГОВОРЕННЯ ТА ВИСНОВКИ

Визначено ключові критерії оцінки візуального ЛМІ, які безпосередньо впливають на ефективність віддаленого керування ДО. Систематизація базових показників — ергономіки, когнітивної відповідності, інформаційної складності, надійності та предикативності — дозволила впорядкувати різнорідні параметри ефективності в єдину ієрархічну структуру.

Формування множини критеріїв верхнього рівня забезпечує концептуальну основу для аналізу стану системи «людина-машина» у складних операційних ситуаціях. Декомпозиція критеріїв деталізує вплив окремих елементів графічного середовища на ефективність роботи оператора в системі віддаленого керування ДО. Подальша формалізація цієї структури закладає підґрунтя для розробки універсальних інтегральних метрик, що адаптують інтерфейс до когнітивних можливостей людини. Запропонований ієрархічний критеріальний підхід формує науково-методичну базу для моделювання та цілеспрямованої оптимізації візуальних середовищ станцій керування ДО.

## ДЖЕРЕЛА

1. Hubskeyi, O. M. (2024). Analysis of user interfaces for ground control stations of unmanned aerial vehicles. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2024(3), 5–21. <https://doi.org/10.15407/kvt217.03.005>
2. Liu, H., et al. (2026). Operational performance, cognitive load, visual attention, and usability of fixed-, manual-, and autonomous-camera control in single- and multiple-camera telemanipulation systems. *Applied Ergonomics*, 130, Article 104647. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2025.104647>
3. Рябовол, Д. А. (2021). Аналіз досліджень щодо сприйняття візуальної інформації для проєктування адитивного кібер-дизайну людино-машинного інтерфейсу для Smart Manufacturing. У *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті: матеріали 25-го Міжнар. молодіж. форуму* (Т. 2, с. 21–22). ХНУРЕ.
4. Picardi, A., & Caruso, G. (2024). User-centered evaluation framework to support the interaction design for augmented reality applications. *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(5), 41. <https://doi.org/10.3390/mti8050041>
5. Telli, K., Kraa, O., Himeur, Y., Ouamane, A., Boumehraz, M., Atalla, S., & Mansoor, W. (2023). A comprehensive review of recent research trends on unmanned aerial vehicles (UAVs). *Systems*, 11(8), 400. <https://doi.org/10.3390/systems11080400>.
6. Endsley, M. R., & Jones, D. G. (2025). *Designing for situation awareness: An approach to user-centered design* (3rd ed.). CRC Press.
7. Brdник, S., Heričko, T., & Šumak, B. (2022). Intelligent user interfaces and their evaluation: A systematic mapping study. *Sensors*, 22(15), 5830. <https://doi.org/10.3390/s22155830>
8. Смалько, О. (2025). Еволюція цифрових інтерфейсів. *Вісник Кам'янець-Подільського національного ун-ту ім. Івана Огієнка. Фіз.-мат. науки*, 18, 115–120.



### ОЛЕКСІЙ ГУБСЬКИЙ

м.н.с. відділу «Інтелектуального керування», Інститут інформаційних технологій і систем НАН України, Київ, Україна

ORCID: 0009-0004-3106-2770

E-mail: gubish@gmail.com

Отримав ступінь бакалавра у Київському національному університеті будівництва і архітектури (Київ, Україна) в 2005 році, а в 2006 ступінь магістра. Нині працює над здобуттям ступеня PhD з комп'ютерних наук в Інституті ІТС НАН України, (Київ, Україна). Серед наукових інтересів — інтелектуальне керування, дизайн інтерфейсів.



### ІГОР ПОПОВ

н.с. відділу «Інтелектуального керування», Інститут інформаційних технологій і систем НАН України, Київ, Україна

ORCID: 0009-0009-7961-9431

E-mail: popigor7@gmail.com

Отримав ступінь бакалавра у Київському національному університеті будівництва і архітектури (Київ, Україна) в 2005 році та ступінь магістра з Управління проєктами у 2007. Нині автор працює над здобуттям ступеня PhD з комп'ютерних наук в Інституті ІТС НАН України, (Київ, Україна). інтелектуальне керування динамічними об'єктами, підготовка операторів, імітаційне моделювання.



### ОЛЕКСАНДР БУШМА

професор кафедри комп'ютерних наук, Київський столичний університет ім. Бориса Грінченка, Київ, Україна

ORCID ID 0000-0003-1604-6129

E-mail: o.bushma@kubg.edu.ua

Закінчив Київський політехнічний інститут у 1976 році. доктор технічних наук, професор. Серед наукових інтересів — інформаційно-комунікаційні технології, людино-машинні системи, інформаційно-вимірні системи, системи моніторингу, вбудовані системи, сенсорика.