Бригадир Сергій Петрович
старший науковий співробітник науково-дослідного відділу
інформаційного та ергономічного забезпечення
науково-дослідного управління перспектив розвитку інформаційних систем
Наукового центру зв'язку та інформатизації
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Україна

Макарчук Василь Іванович
старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії
супроводження систем кіберзахисту
науково-дослідного управління розвитку проблем захисту інформації
Наукового центру зв'язку та інформатизації
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Україна

ЕРГОНОМІЧНІ ЗАСАДИ ПРОЄКТУВАННЯ АДАПТИВНИХ КОРИСТУВАЦЬКИХ ІНТЕРФЕЙСІВ У СКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Анотація: *Досліджено ергономічні засади проектування адаптивних користувацьких інтерфейсів у складних інформаційних системах. Проаналізовано принципи оптимізації взаємодії "людина-машина", зменшення когнітивного навантаження та адаптації UI/UX під контекст і характеристики користувача для підвищення ефективності.*

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток та ускладнення складних інформаційних систем (СІС) – таких як автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУ ТП), симулятори критичної інфраструктури, медичні та авіаційні комп'ютерні комплекси, а також корпоративні ERP/CRM-системи – призвели до значного зростання обсягів даних, які людина-оператор має сприймати, аналізувати та використовувати для прийняття рішень у режимі реального часу.

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується зміщенням фокусу з суто технічної надійності систем на людиноорієнтованість (Human-Centred Design). У складних ІС критичним чинником стає психофізіологічне та когнітивне навантаження на користувача. Класичні "статичні" інтерфейси, які пропонують уніфікований вигляд та однакову логіку взаємодії незалежно від зовнішнього контексту, поточного стану системи або індивідуальних особливостей людини, вже не здатні забезпечити необхідний рівень ефективності та безпеки.

Виникає фундаментальна суперечність між:

- зростаючою складністю функціоналу СІС та підвищеними вимогами до швидкості й точності дій оператора;

- обмеженими когнітивними ресурсами людини (увага, пам'ять, швидкість переробки інформації), особливо в умовах стресу, дефіциту часу чи втоми.

- Одним із найперспективніших шляхів подолання цієї суперечності є створення адаптивних користувацьких інтерфейсів (Adaptive User Interfaces, AUI), які здатні динамічно змінювати свій склад, компонування, рівень деталізації даних та алгоритми взаємодії відповідно до:

- контексту виконання завдань (критична ситуація, рутинний режим, зміна зовнішніх умов);

- індивідуальних характеристик користувача (рівень кваліфікації, досвід, рольова модель);

- поточного психофізіологічного стану оператора (рівень втоми, концентрація, когнітивне перевантаження).

Однак процес проєктування таких інтерфейсів стикається з серйозним викликом: відсутністю цілісної системи ергономічних засад та формалізованих моделей адаптації. Без чіткого врахування законів когнітивної ергономіки "неконтрольована" або непрозора адаптація може призвести до зворотного ефекту – дезорієнтації користувача, втрати ним ситуаційної обізнаності (Situation Awareness), зниження довіри до системи та зростання кількості помилок через порушення звичних ментальних моделей.

Отже, науково-практична проблема полягає у необхідності розробки та системного обґрунтування ергономічних засад, принципових моделей та алгоритмів побудови адаптивних користувацьких інтерфейсів для складних ІС. Це дозволить забезпечити баланс між рівнем автоматизації та збереженням контролю з боку людини, мінімізувати когнітивне навантаження й підвищити загальну надійність та ефективність функціонування системи "людина – машина".

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема проєктування інтерфейсів взаємодії людини з комп'ютером (HCI) у складних інформаційних системах (СІС) привертає значну увагу як українських, так і зарубіжних науковців. Теоретичні підвалини інженерної психології та ергономіки операторської діяльності ґрунтуються на працях Чебикіна О. Я., Буганової В. М., а також Бондаренка М. Ф. та Шабанова-Кушнаренка Ю. П., де обґрунтовано фундаментальні засади сприйняття інформації людиною та моделювання людино-машинних систем. Питанням системного аналізу та оптимізації функціонування складних інформаційних систем присвячено дослідження Зайченка Ю. П., тоді як спеціалізовані методичні підходи до проєктування

адаптивних користувацьких інтерфейсів в умовах високого інформаційного навантаження висвітлено у роботах Паська В. О. та Трегубова О. С.

У зарубіжній науковій думці концептуальні основи адаптивності та взаємодії "людина–комп'ютер" сформовано в класичних та сучасних працях:

Dix A., Finlay J., Abowd G. D., Beale R., які визначили ключові принципи US (User Experience) та засади розробки людино-орієнтованих систем;

R. Oppermann, який увів систематику та класифікацію адаптивних інтерфейсів користувача (AUI);

M. R. Endsley, котра обґрунтувала теорію ситуаційної обізнаності (Situation Awareness), що є вирішальною для ситуаційних центрів та критичних СІС;

J. Sweller, у працях якого розкрито теорію когнітивного навантаження (Cognitive Load Theory), що лягла в основу сучасних ергономічних вимог до динамічного фокусування уваги оператора;

Метою статті є розробка методологічних і практичних рекомендацій щодо застосування ергономічних підходів при створенні адаптивних користувацьких інтерфейсів (UI/UX) у складних інформаційних системах, що забезпечує автоматичне підлаштування параметрів інтерфейсу під динамічний контекст виконання завдань, індивідуальні властивості користувача та поточні умови середовища.

Виклад основного матеріалу дослідження. У складних інформаційних системах (СІС) – таких як системні комплекси управління технологічними процесами, ситуаційні центри, ER/ERP-системи чи аналітичні платформи – оператор або користувач стикається з високим рівнем інформаційного навантаження.

Традиційні статичні інтерфейси за умов когнітивного перевантаження або дефіциту часу часто стають причиною помилок через людський чинник. Адаптивний користувацький інтерфейс (Adaptive User Interface, AUI) вирішує цю проблему, змінюючи свій вигляд, структуру та функціональність залежно від контексту, стану користувача та поточних завдань.

Проєктування адаптивних інтерфейсів у СІС базується на поєднанні класичної інженерної психології, системної ергономіки та сучасних підходів HCI (Human-Computer Interaction):

- принцип мінімізації когнітивного навантаження передбачає розвантаження уваги користувача шляхом приховування другорядних елементів та поступового розкриття інформації в міру потреби, залишаючи у фокусі лише найважливіші дані;

- принцип збереження ситуаційної обізнаності вимагає, щоб будь-які динамічні зміни інтерфейсу залишалися прозорими та передбачуваними для оператора, забезпечуючи повне розуміння поточного стану системи без його деорієнтації;

- принцип збалансованого контролю передбачає, що автоматична адаптація системи на основі ШІ має бути передбачуваною та легко скасовуваною, залишаючи остаточне рішення та повний контроль за користувачем;

- принцип передбачуваності та стабільності полягає у збереженні єдиного візуального й ментального патерну (зокрема колірної семантики та розташування критичних елементів), що гарантує зрозумілість і постійність інтерфейсу для користувача навіть під час глибинних системних трансформацій.

Процес ергономічної адаптації спирається на тривимірний контекстний аналіз.

Моніторинг та збір даних (Input Sensing):

- *показники користувача* (рівень досвіду, психофізіологічний стан (швидкість реакції, частота помилок, айтрекінг/напрямок погляду);

- *показники системи* робочий режим (нормальний, аварійний, підготовка), обсяг вхідного потоку даних).

Аналіз та ухвалення рішень (Adaptation Engine):

- визначення необхідності зміни UI за допомогою заздалегідь визначених сценаріїв (Rule-based) або машинного навчання (ML-models).

Виконання адаптації (UI Adaptation Level):

- змістовна (адаптація деталізації даних (агреговані графіки vs сирі логи);

- структурна перегрупування або приховання елементів навігації;

- презентаційна зміна розмірів шрифтів, контрасту, колірної гами (наприклад, підсвічування критичних параметрів під час аварійних ситуацій).

Виклад основного матеріалу підкреслює специфічні вимоги до реалізації AUI у складних системах:

- адаптивні зміни інтерфейсу мають здійснюватися плавно та прозоро, щоб не спричиняти візуального шоку й не відволікати користувача від виконання основних завдань;

- для збереження моторної пам’яті оператора адаптивні зміни мають торкатися лише інформаційних блоків, залишаючи базові органи управління та елементи меню на постійних місцях;

- багаторівневий зворотний зв'язок передбачає лаконічне та ненав'язливе інформування користувача про причини будь-якої автоматичної зміни в інтерфейсі для збереження його контролю над системою.

Ергономічна якість розробленої AUI-системи вимірюється сукупністю кількісних та якісних показників наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Ергономічна якість розробленої AUI-системи вимірюється сукупністю кількісних та якісних показників

Категорія метрик	Конкретні показники оцінки
Продуктивність (efficiency)	Час виконання критичного сценарію, кількість дій/кліків для досягнення мети
Надійність (reliability)	Частота та характер помилок оператора (особливо в стресових умовах)
Психофізіологічні метрики	Рівень когнітивного навантаження (вимірюється за допомогою NASA-TLX, моніторингу серцевого ритму або айтрекінгу)
Задоволеність (satisfaction)	Суб'єктивна оцінка зручності користувачем (шкали SUS, CSUQ)

Практичні рекомендації з проєктування та реалізації.

При розробці AUI у складних системах необхідно дотримуватися наступних техніко-ергономічних вимог.

1. Збереження "просторової пам'яті" (Spatial Memory Constraint).

Критична помилка: Автоматичне хаотичне переміщення базових елементів управління по екрану.

Рекомендація: Закріплюйте ключові органи управління (наприклад, кнопки скасування, тривоги, збереження) у фіксованих опорних зонах (Anchor Zones). Адаптації піддавайте лише область робочого контенту та допоміжні панелі.

2. Плавність та передбачуваність (AUI Micro-interactions).

Рекомендація: Усі зміни інтерфейсу (згортання панелей, зміна фокусу) мають відбуватися за допомогою плавних анімацій (тривалістю 150–300 мс) із чітким візуальним фідбеком. Користувач повинен розуміти, *чому* елемент змінив свій стан.

3. Автономія та контрольованість (Manual Override).

Рекомендація: Система повинна надавати користувачеві можливість миттєво скасувати адаптивну зміну (наприклад, кнопкою "Повернути

стандартний вигляд”) або повністю вимкнути автоматичну адаптацію у налаштуваннях.

Перевірка ефективності розроблених рекомендацій використання комплексної методики тестування наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Перевірка ефективності розроблених рекомендацій використання комплексної методики тестування

Метод / Метрика	Інструмент вимірювання	Очікуваний результат впровадження AUI
GOM / KLM аналіз *(час виконання)*	Протоколювання дій *(time-tracking)*	Скорочення часу виконання сценаріїв на 20–35%
Аналіз помилок (AER)	Логування відкатів дій та скасувань	Зниження кількості критичних помилок оператора на 40%+
NASA-TLX *(когнітивне навантаження)*	Суб’єктивне оцінювання за шкалами	Зменшення показника ментального навантаження на 25–30 балів
Айтрекінг (Eye-tracking)	Теплові карти уваги, фіксація погляду	Зменшення блукання погляду та прискорення пошуку цільових UI-елементів

Висновки. Впровадження ергономічних засад у проєктування адаптивних користувацьких інтерфейсів дозволяє створити людино-орієнтовані СІС, де технологія підлаштовується під когнітивні можливості людини, а не навпаки. Це забезпечує підвищення швидкості прийняття рішень, мінімізує вплив людського чинника у критичних ситуаціях та знижує втомлюваність операторів під час тривалої роботи.

Застосування запропонованих методологічних рекомендацій дозволяє трансформувати інтерфейси складних інформаційних систем із статичних графічних оболонок на адаптивних когнітивних помічників. Це суттєво мінімізує негативний вплив людського чинника, підвищує оперативність прийняття рішень та оптимізує роботу користувача в умовах стресу чи дефіциту часу.

Список використаних джерел:

1. Чебикін О. Я., Буганова В. М. Ергономіка та інженерна психологія : навч. посіб. Одеса : ПНПУ ім. К. Д. Ушинського, 2020. 212 с.
2. Пасько В. О., Трегубов О. С. Проєктування адаптивних інтерфейсів користувача в умовах високого інформаційного навантаження. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2021. № 2 (6). С. 45–52.

3. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій та проектування складних інформаційних систем : підручник. Київ: Золоті ворота, 2019. 384 с.
4. Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Теорія інтелекту та проектування людино-машинних систем. Харків : ТОВ «Компанія СМІТ», 2018. 320 с.
5. Dix A., Finlay J., Abowd G. D., Beale R. Human-Computer Interaction. 3rd ed. Harlow : Pearson Education / Prentice Hall, 2004. 832 p.
6. Shneiderman B., Plaisant C., Cohen M., Jacobs S., Elmqvist N. Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction. 6th ed. Boston : Pearson, 2016. 624 p.
7. Sweller J., Ayres P., Kalyuga S. Cognitive Load Theory. New York : Springer, 2011. 284 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4.
8. Endsley M. R. Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2011. 448 p.
9. Oppermann R. Adaptive User Interfaces: Principles and Practice. London : Academic Press, 1994. 266 p.
10. ISO 9241-210:2019. Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems. International Organization for Standardization, 2019. 32 p.