

УДК 004.55:687.01 (043.2)

DOI: 10.18372/2073-4751.83.20553

Остроумов І.В., д.т.н., проф,
orcid.org/0000-0003-2510-9312,**Іващук О.Р., аспірант,**
orcid.org/0000-0001-5637-0332,**Кузьменко Н.С., к.т.н.,**
orcid.org/0000-0002-1482-601X,**Свірко В.О., к.п.н.,**
orcid.org/0000-0002-6482-6827,

ПРОГРАМНА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Державний університет «Київський авіаційний інститут»

e-mail: vany@kai.edu.ua,
e-mail: iva.oleg2000@gmail.com
e-mail: nataliiakuzmenko@ukr.net,
e-mail: ndi-design@ukr.net

Сьогодні роль безпілотних літальних апаратів зростає стрімкими темпами, їх все частіше використовують для різних цивільних задач. Проте більшість безпілотних апаратів все ще потребує людського контролю хоч і віддаленого [1, 2]. Відповідно оператору безпілотного апарату потрібно розробити робоче місце яке б дозволило йому ефективно виконувати цілі які перед ним поставили [3]. Розробкою такого місця займається ергономіка. Зазвичай щоб оцінити систему в якій достовірні показники, неможливо отримати за допомогою безпосередніх вимірювань потрібно використати експертне оцінювання. Саме тому для виконання оцінки ергодизайнерських характеристик формується спеціалізована експертна група [4, 5]. До складу цієї групи повинні входити професіонали з підтвердженим досвідом експлуатації та технічного обслуговування різних типів Безпілотних Авіаційних Систем (БАС). Також такий склад експертів повинен забезпечити всебічний аналіз розв'язуваних задач. Відбір експертів ґрунтується на їх компетентності, яка є професійна, на основі: їхніх попередніх напрацюваннях, офіційно засвідчених професійних досягненнях та рівні практичної

підготовки, і кваліметрична на основі: знання методів оцінювання і вміння їх використовувати. Тому такі фахівці здатні здійснювати всебічний аналіз ергодизайнерських параметрів елементів БАС із урахуванням впливу зовнішніх і внутрішніх факторів [6, 7]. Процес оцінювання може реалізовуватися як у формі колективного рішення, так і на основі індивідуальних експертних висновків [8].

Метод експертного оцінювання передбачає залучення кваліфікованих фахівців, які здійснюють аналіз параметрів у межах своєї професійної компетенції, після чого їх оцінки підлягають статистичним обробці [9, 10]. Оцінювання проводиться індивідуально, без необхідності синхронної участі всіх експертів, що дозволяє гнучко організувати процес у часовому аспектах [11]. Це відкриває можливості до автоматизації процесу створення системи де кожен учасник може вносити свої оцінки до автоматизованої системи у зручний момент, а також призупиняти роботу й повертатися до неї в межах встановленого терміну. Рівень компетентності може бути визначений заздалегідь організаторами або самостійно експертом, що дозволяє

враховувати індивідуальні особливості досвіду та спеціалізації.

Основною метою дослідження є розробка ефективної архітектури програмного забезпечення для підтримки процесу ергодизайнерського оцінювання якості БАС та гарантованим рівнем захисту даних, що зберігається у системі.

Архітектура програмного забезпечення

Автоматизована система дозволить краще організувати виконання методики ергодизайнерського оцінювання БАС так як вона дозволить: автоматично налаштовувати процеси оцінювання відповідно до системи ергодизайнерських показників (СЕП), а також покращить якість виконання експертами своєї роботи завдяки перекладенні частини обов'язків на автоматизовану систему і дозволить отримувати всі необхідні матеріали по задачам будь-де.

Точність сучасних приладів досягла рівня який складно було уявити в кінці минулого століття, крім того такі речі як телефон чи ноутбук є в вільному доступі та представленні широким спектром моделей. Тому всі ці пристрої можуть бути ефективно інтегровані в процес ергодизайнерського оцінювання БАС. Кожен тип пристрою — персональні комп'ютери, планшети, смартфони, мультимедійні дисплеї — має свої функціональні переваги та технічні обмеження, що слід враховувати при побудові архітектури програмного забезпечення. Основною проблемою є фрагментованість операційних систем, оскільки програмні бібліотеки, інтерфейсні компоненти та механізми обробки даних істотно різняться між платформами. Розробка програмного забезпечення під одну операційну систему обмежує його застосування певним сегментом обладнання, що заважає масштабуванню системи та обмежує доступність.

Ось чому ключовим критерієм ефективності системи є її крос платформенність — здатність функціонувати на

різних пристроях незалежно від операційного середовища. Наприклад, окремі робочі станції можуть використовуватися для конфігурації проектів і аналітики, мобільні пристрої — для оперативного збору даних на місці, а результати можуть колективно розглядатися експертами за допомогою телевізора чи смарт-проектора. Такий підхід забезпечує гнучкість, зручність та адаптивність системи до реальних умов експертної роботи, а також сприяє її інтеграції в цифрову інфраструктуру управління якістю БАС.

Є різні варіанти реалізації кросплатформних рішень зокрема :контейнеризація (Docker), крос платформенні фреймворки (Flutter), гібридні мобільні додатки (Cordova) та інші. Найбільш універсальним і поширеним підходом є використання Web-додатків, які забезпечують доступ до функціоналу системи з будь-якого пристрою, незалежно від операційної системи чи апаратної платформи. Робота таких додатків базується на взаємодії трьох ключових компонентів: клієнтського програмного забезпечення, серверної інфраструктури та мережі передачі даних. У процесі функціонування клієнтська частина формує запити, які передаються до сервера через мережу (наприклад, Ethernet або Wi-Fi), після чого сервер обробляє запит і надсилає відповідь, що забезпечує динамічну взаємодію з користувачем. Клієнтське програмне забезпечення може бути реалізоване у двох основних формах: як окремий застосунок, встановлений на пристрої, або як браузерна програма, що виконується безпосередньо у Web-браузері. Останній варіант є більш гнучким і зручним для користувачів, оскільки не потребує інсталяції, автоматично оновлюється та дозволяє працювати з різних пристроїв у режимі реального часу. Такий підхід особливо актуальний для систем експертного оцінювання, де важливо забезпечити доступність, масштабованість і

безперервність роботи незалежно від технічних умов експертів.

Клієнтське програмне забезпечення, реалізоване у форматі Web-додатку, функціонує безпосередньо у браузері користувача, де виконується код, що ініціює запити до серверної частини системи. Серверне обладнання приймає ці запити, обробляє їх відповідно до логіки застосунку та формує відповідь, яка передається клієнту через мережу передачі даних. Отримана інформація відтворюється на стороні клієнта у зручному для користувача форматі. Залежно від архітектурного підходу, обробка даних може здійснюватися як на клієнтському рівні — наприклад, для локального аналізу чи побудови графіків, — так і повністю на сервері, коли користувач отримує вже готові результати. У більшості випадків розробники прагнуть мінімізувати обчислювальне навантаження на клієнтські пристрої, що дозволяє забезпечити стабільну роботу системи навіть на обладнанні з обмеженими ресурсами, з іншої сторони він потребує виділення додаткових ресурсів на сервери, щоб вони могли впоратися з пере направленим навантаженням. Такий підхід сприяє ширшій сумісності, знижує вимоги до технічної бази користувача та підвищує загальну доступність системи. Крім того, централізована обробка даних на сервері підвищує рівень інформаційної безпеки: обмеження обчислень на стороні клієнта унеможливорює повне копіювання логіки роботи системи, навіть за наявності доступу до вихідного коду інтерфейсної частини, при наявності резервних копій сервера це також мінімізує ризики втрати всіх даних у випадку різних непередбачуваних ситуацій. Це створює додатковий бар'єр проти несанкціонованого використання або модифікації програмного забезпечення.

Беручи до уваги вище згадану інформацію під час проектування автоматизованої системи оцінювання

якості доцільно дотримуватися принципу централізації обчислювальних процесів на серверному рівні, щоб уникнути перевантаження клієнтської сторони, на яку буде відведено забезпечення функції інтерфейсної взаємодії та візуалізації результатів. Такий підхід дозволяє оптимізувати використання обчислювальних ресурсів, зменшити навантаження на кінцеві пристрої та забезпечити стабільну роботу системи на широкому спектрі обладнання.

Архітектура програмного забезпечення реалізована у форматі Web-додатку, що забезпечує кросплат-форменність і доступність з будь-якого пристрою, підключеного до мережі. Клієнтська частина формує запити до серверної інфраструктури через комп'ютерну мережу Ethernet із використанням захищеного протоколу HTTPS, що гарантує конфіденційність переданих даних. Звісно це потребує процедуру підключення сертифікатів і налаштувань переходу від HTTP на HTTPS, проте на даному етапі розвитку комп'ютерних технологій ця процедура є доволі простою, і не потребує значних ресурсів. Серверне обладнання здатне обробляти велику кількість паралельних запитів із мінімальними затримками, завдяки ефективному механізму черги та оптимізації потоків обробки. Така організація дозволяє масштабувати систему, забезпечити її надійність та інтегрувати в цифрову інфраструктуру управління якістю безпілотних авіаційних систем. Загальна структурна схема функціонування програмного забезпечення на фізичному рівні подана на рис. 1.

Інтерфейс користувача розроблено за допомогою мови гіпертекстової розмітки HTML 5 з керуванням через JavaScript [6], що дозволяє реалізовувати інтерактивну взаємодію та дозволяє підвищити швидкість обчислень на стороні користувача. Аналіз даних та обчислювальні операції на стороні сервера реалізовано у програмному забезпеченні PHP (Hypertext Preprocessor).

RНР застосовується для більшості обчислень та аналітичних операцій у розподіленому програмному забезпеченні. Результатом виконання RНР-коду є сформована гіпертекстова сторінка у форматі HTML, яка відображається кінцевому користувачеві у Web-браузері в незалежності від особливостей технічного обладнання пристрою.

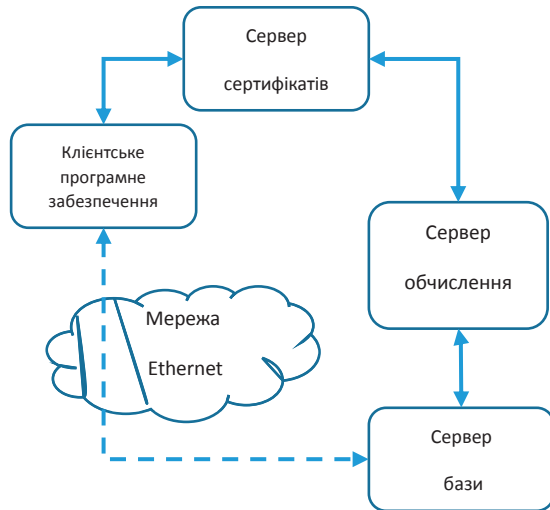


Рис. 1. Структурна схема крос-платформного програмного забезпечення.

Узагальнена архітектура взаємозв'язків між блоками (структурними елементами) розробленого програмного забезпечення представлена на рис. 2.

Інтерфейс користувача розроблений на мові гіпертекстової розмітки для відображення у браузері забезпечує доступ до усіх ресурсів необхідних для оцінювання якості БАС. Інтерфейс структурно складається з п'яти основних блоків:

- блок кабінету користувача;
- форму створення нового проєкту експертного оцінювання;
- блок експертного оцінювання;
- блок аналізу даних експертного оцінювання;
- блок звітної документації та рекомендацій.

Кожен блок взаємодіє через інтерфейс користувача з віддаленою базою даних для обробки та збереження

введеної інформації та її повторного використання під час інших сеансів роботи. Для СЕП відведено окрему базу даних, яка не змінюється під час експлуатації системи. Це забезпечує незмінність основних показників якості та унеможливорює атаки через функцію MySQL INSERT(). Користувачі мають право лише переглядати її значення без можливості модифікації. Це пояснюється тим, що СЕП є ядром системи, і будь-які зміни її параметрів можуть призвести до критичних порушень цілісності даних, тому база даних СЕП має підвищений рівень захисту від змін.

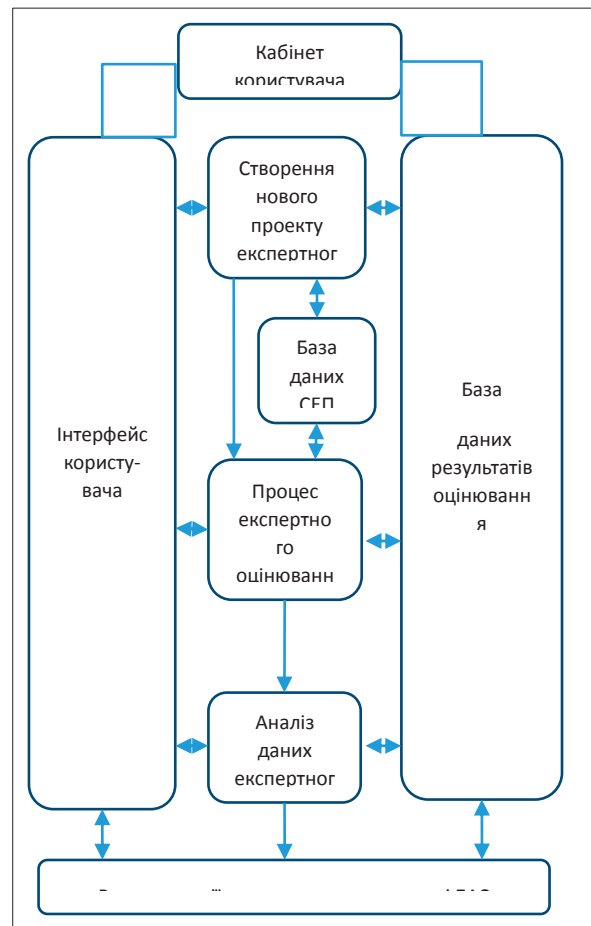


Рис. 2. Архітектура взаємозв'язків між блоками програмного забезпечення.

У блоці кабінету користувача містяться персональні дані, необхідні для коректної ідентифікації, розподілу прав доступу та підключення експертів до проєктів з оцінювання.

Ідентифікація та початкові налаштування проекту експертного оцінювання задаються користувачем у форма створення нового проекту. Зокрема, тут вказуються повна та скорочена назви об'єкта оцінювання, короткий опис БАС та забезпечується під'єднання експертів до потоку оцінювання. Кожен користувач може створювати нові проекти, але додавати експертів має право лише ініціатор проекту.

Блок експертного оцінювання відповідає за візуалізацію СЕП відповідно до зроблених налаштувань і містить інструменти для введення даних щодо кожного показника якості. Кожен експерт має доступ лише до власних оцінок, у той час як ініціатор проекту може переглядати результати всіх підключених учасників.

Блок аналізу даних виконує статистичну обробку результатів експертного оцінювання та здійснює їх групування за певними критеріями ефективності. Експерти, що приймають участь у оцінюванні, не мають доступу до узагальнених результатів.

Блок звітів та рекомендацій формує інтерактивні звіти та визначає показники, значення яких потребують покращення. Порогові значення ергодизайнерського рівня якості задається користувачем і можуть динамічно змінюватися відповідно до вподобань, при цьому результати автоматично перераховуються та доводяться до користувача.

Розроблене програмне забезпечення має обмежений режим функціонування, отже доступ до даних та усього функціоналу надається тільки після успішного розпізнавання користувача. Під час першої реєстрації у системі кожен користувач створює пароль, який зберігається у зашифрованому вигляді за алгоритмом SHA-256. Усі приватні дані також зберігаються в зашифрованому вигляді: кожне поле бази даних шифрується окремим ключем, що унеможлиблює їх інтерпретацію навіть у разі несанкціонованого доступу. Ключ не

зберігається у системі, отже тільки введений з інтерфейсу користувача ключ забезпечує вдале дешифрування даних.

Додатково використовується алгоритм відстеження на основі унікального підпису користувача. Цей підпис формується за технічними параметрами пристрою, програмного забезпечення, та даних користувача, що дозволяє автоматизувати автентифікацію і підвищує рівень захисту від несанкціонованого доступу. Якщо користувач входить у систему з тієї ж IP-адреси та пристрою, у схожій конфігурації середовища й протягом прийнятного інтервалу часу, система автоматично ідентифікує його та ініціює нову або відновлює попередню сесію роботи з програмним забезпеченням. Ця технологія є найпоширенішою сьогодні та дозволяє гарантовано розпізнавати користувача без введення додаткових даних.

Результати експертного оцінювання розраховуються з використанням вагових коефіцієнтів за наступною формулою:

$$Q = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M w_i a_i,$$

де M – кількість складників БАС, що оцінюються;

a_i – загальне середнє значення оцінки параметрів якості, наданих експертами;

w_i – ваговий коефіцієнт.

Треба зауважити, що значення вагових коефіцієнтів мають задовольняти наступним вимогам:

$$0 \leq w_i < 1, \\ \sum_{i=1}^M w_i = 1,$$

Слід зазначити, що зміна вагового коефіцієнта для одного з параметрів автоматично зумовлює перерозподіл вагомості між іншими елементами системи. Така модифікація може здійснюватися як безпосередньо користувачем системи, так і в автоматичному режимі.

Результати експертного оцінювання за кожним показником якості багаторівневої системи СЕП доступні користувачу на будь-якому рівні через інтерактивний інтерфейс. У процесі аналізу користувач має можливість динамічно змінювати порогові значення для визначення прийнятного чи неприйнятного рівня якості показників БАС. Показники, значення яких виявляються нижчими за встановлене порогове значення, автоматично позначаються системою як такі, що потребують удосконалення, та відображаються у візуальному середовищі червоним кольором.

Програмна реалізація програмного забезпечення

Алгоритм оцінювання якості БАС надає користувачу гнучкість у проведенні експертизи на різних рівнях показників якості, враховуючи індивідуальні уподобання експерта та специфіку оцінюваного об'єкта. Експерт може здійснювати оцінювання як за окремими показниками, що входять до складових другого рівня, так і відразу за груповими показниками.

Користувач має можливість самостійно визначати послідовність оцінюваних показників відповідно до власних уподобань, а також може бути залучений лише до частини показників у межах своєї компетенції. У цьому випадку експертиза здійснюється лише за визначеною групою показників, зазначеною під час створення проєкту оцінювання. На рис. 3. наведено зовнішній вигляд інтерфейсу програмного забезпечення під час експертного оцінювання. Слід зауважити, що якщо експерти проводять оцінювання лише за окремими підгрупами показників СЕП, то для забезпечення повноти оцінювання необхідно залучати фахівців з різних напрямів зокрема проєктування та експлуатації БАС. Це дозволить досягти максимальної кількості оцінок на рівні одиничних показників і забезпечити комплексний аналіз якості системи.

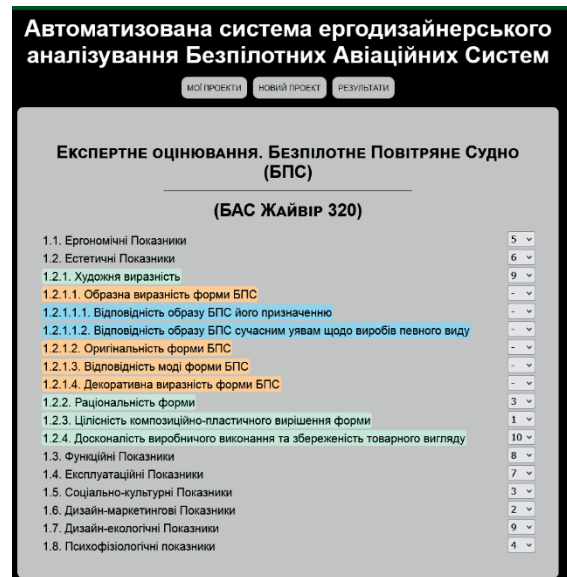


Рис. 3. Інтерфейс програмного забезпечення.

Приклад візуалізації результатів експертного оцінювання наведено на рис. 4.

1. Безпілотне Повітряне Судно (БПС)
Ваговий коефіцієнт: 0.50
Ivan : 5.5 (2.75)
Середнє значення: 5.5
2. Наземна Станція Керування (НСК)
Ваговий коефіцієнт: 0.35
Ivan : 5 (1.75)
Середнє значення: 5
3. Стартовий Пристрій (СП)
Ваговий коефіцієнт: 0.10
Середнє значення: 5
4. Пристрій Посадки (ПП)
Ваговий коефіцієнт: 0.05
Середнє значення: 5
5. Загальний результат Ергономічного оцінювання виробу
Середнє значення: 51.25 %
Середньо зважена оцінка: 16.67 %

Рис. 4. Результати експертного оцінювання.

Висновки

Запропонована програмна архітектура автоматизованої системи експертного оцінювання якості забезпечує ефективну інтеграцію людського фактора в процес оцінювання ергономічних характеристик безпілотних авіаційних систем. Система реалізована як кросплатформений Web-додаток, що дозволяє користувачам працювати з будь-яких пристроїв без прив'язки до операційної системи. Основні обчислювальні процеси винесено на сервер,

що підвищує продуктивність і захищеність даних. Архітектура включає п'ять функціональних модулів, які охоплюють весь цикл експертного оцінювання — від створення проекту до формування рекомендацій. Застосування вагових коефіцієнтів і динамічних порогів дозволяє адаптувати аналіз до специфіки об'єкта та компетентності експертів. Передбачено механізми автентифікації, шифрування даних і автоматичного відновлення сесій, що забезпечує високий рівень безпеки. Система підтримує індивідуальну та колективну форму оцінювання, а також дозволяє гнучко налаштовувати структуру проекту. Візуалізація результатів і автоматичне виявлення критичних показників сприяють оперативному прийняттю рішень. Представлений підхід може бути масштабований для інших типів технічних систем, де важливе врахування ергономіки та експертної думки. Робота демонструє практичну реалізацію концепції інтеграції експертного знання в цифрове середовище для підвищення якості авіаційної техніки.

Література

1. Alharasees O., Adali O.H., Kale U. Human Factors in the Age of Autonomous UAVs: Impact of Artificial Intelligence on Operator Performance and Safety. *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*. Warsaw, Poland, 2023. P. 798–805. DOI: 10.1109/ICUAS57906.2023.10156037.
2. Рубцов А., Свірко В., Остроумов І.В. Комплекси безпілотних повітряних суден ергодизайнерські показники. *Теорія та практика дизайну: зб. наук. праць. Дизайн*. 2022. № 25. С. 175–183. DOI: 10.18372/2415-8151.25.16794.
3. Kaliardos W.N., Holbrook J., Hobbs A. Identifying Human Factors Research for Unmanned Aircraft Systems and Advanced Air Mobility. *AIAA DATC/IEEE 43rd Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. San Diego, USA, 2024. P.1–9. DOI:10.1109/DASC62030.2024.10748711.
4. Ostroumov I.V., Mykolalets D., Rubtsov A., Svirko V. Ergonomic Design of Unmanned Aerial System Components. *7th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD)*. Kyiv, Ukraine, 2024. P. 124–129. DOI: 10.1109/APUAVD64488.2024.10765901.
5. Golightly D., Gamble C., Palacin R., Pierce K. Applying Ergonomics within the Multi-Modelling Paradigm with an Example from Multiple UAV Control. *Ergonomics*. 2020. — Vol. 63, No. 8. — P. 1027–1043.
6. Ostroumov I.V., Mykolalets D., Svirko V., Kuzmenko N.S. Design of Unmanned Aerial System Considering the Human Factor. *7th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD)*. Kyiv, Ukraine, 2024. P. 52–56. DOI: 10.1109/APUAVD64488.2024.10765868.
7. Ostroumov I.V., Svirko V., Rubtsov A. Unmanned Aerial System Quality Evaluation Based on Ergodesign Analysis. *Actual problems of unmanned aerial vehicles development: APUAVD-2021 6th International Conference of IEEE*. October 2021. P. 195–199. DOI: 10.1109/APUAVD53804.2021.9615182.
8. Mouloua M., Gilson R., Daskarolis-Kring E., Kring J., Hancock P. Ergonomics of UAV/UCAV mission success: Considerations for data link, control, and display issues. *In Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*. 2001. Vol. 45, No. 2. P. 144–148. Los Angeles, CA: SAGE Publications.
9. Peschel J.M., Murphy R.R. On the Human–Machine Interaction of Unmanned Aerial System Mission Specialists. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. 2013. Vol. 43, No. 1. P. 53–62. DOI: 10.1109/TSMCC.2012.2220133.
10. Ostroumov I.V., Svirko V., Kuzmenko N.S., Kyzymchuk O., Mykhatskyi O. Assessment of Ergodesign Level of Unmanned Aerial System. *CEUR Workshop Proceedings of the International Workshop on Data Analytics (WDA 2025)*. 2025. Vol. 3912. P. 61–70.
11. Wu X., Sun G., Liu S., Ding L., Miao C., An K. Ergonomics Considerations of Usability Test of UAV Handheld Control Unit. *International Conference on Human-Computer Interaction*. Cham: Springer, 2020. P. 346–356.

Остроумов І.В., Івашук О.Р., Кузьменко Н.С., Свірко В.О.

ПРОГРАМНА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В даній роботі пропонується програмна архітектура автоматизованої системи експертного оцінювання якості безпілотних авіаційних систем, призначеної для збору індивідуальних експертних оцінок, їхньої статистичної обробки та генерації інтерактивних звітів і рекомендацій щодо підвищення ергономічних характеристик БАС. Програма дозволяє систематизувати експертне оцінювання якості безпілотних авіаційних систем, коли прямі вимірювання є неможливими або неефективними. Програма реалізована на основі кросплатформеного Web-рішення з клієнтською частиною на HTML5/JavaScript і серверною обробкою на PHP, наведено модульну структуру системи (кабінет користувача, створення проєкту, модуль експертного оцінювання, аналізу даних, звітів і рекомендацій), описано підходи до зберігання та захисту даних, механізми автентифікації та алгоритм агрегування результатів на основі зваженої середньої. Запропоновано функціональні можливості для динамічного налаштування ваг і порогів, а також інструменти для забезпечення цілісності й доступності результатів експертизи. У завершальній частині роботи наведено приклад реалізації програмного забезпечення та його інтерфейс.

Ключові слова: безпілотні авіаційні системи, експертне оцінювання, ергономічний веб-додаток, безпека даних, аналітика даних, віртуалізація, великі бази даних.

Ostroumov I.V., Ivashchuk O.R., Kuzmenko N.S., Svirko V.O.

SOFTWARE ARCHITECTURE OF THE SYSTEM FOR EXPERT ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF UNMANNED AVIATION SYSTEMS

This paper proposes a software architecture of an automated system for expert assessment of the quality of unmanned aviation systems, designed to collect individual expert assessments, their statistical processing and generation of interactive reports and recommendations for improving the ergonomic characteristics of UAS. The program allows you to systematize expert assessment of the quality of unmanned aviation systems when direct measurements are impossible or ineffective. The program is implemented on the basis of a cross-platform Web solution with a client part in HTML5/JavaScript and server processing in PHP, the modular structure of the system is given (user account, project creation, expert evaluation module, data analysis, reports and recommendations), approaches to data storage and protection, authentication mechanisms and an algorithm for aggregating results based on a weighted average are described. Functional capabilities for dynamically adjusting weights and thresholds are proposed, as well as tools for ensuring the integrity and accessibility of examination results. The final part of the work provides an example of software implementation and its interface.

Keywords: unmanned aviation systems, expert evaluation, ergonomic design, web application, data security, data analytics, virtualization, large databases.