

УДК 331.101.1

doi:10.20998/2413-4295.2022.04.07

БЕЗПЛОТНІ СИСТЕМИ: ПРОБЛЕМИ ЛЮДСЬКОГО ФАКТОРА**Г. В. МИГАЛЬ^{1*}, О. Ф. ПРОТАСЕНКО²**

¹ кафедра автомобілів та транспортної інфраструктури, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, УКРАЇНА

² кафедра готельного і ресторанного бізнесу, Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця, Харків, УКРАЇНА

*e-mail: g.mygal@khai.edu

АНОТАЦІЯ З появою безпілотних систем розвиток ергономіки увійшов у новий етап вивчення людино-машинної взаємодії та загострив проблеми безпеки. Змінилися вимоги до безпеки, стійкості до відмов і надійності як самих систем так і головної їх ланки – людини-оператора. Нові виклики – нові проблеми людини у цифрових системах. Цифровізація дозволила створити безпілотні системи, але й створила ергономічне протиріччя між намірами та отриманим результатом. Суть його в тому, що на відміну від очікуваного підвищення ефективності та безпеки, зростання автоматизації в безпілотних системах призводить до збільшення ризиків, пов'язаних з людським впливом. Безпілотні авіаційні системи мають унікальні ергономічні проблеми, пов'язані з особливостями діяльності оператора безпілотних літальних апаратів та технічними особливостями самих безпілотних літальних апаратів як складних систем. У зв'язку з цим актуальним є аналіз причин проявів феномену людського фактору, що продовжуються, у функціонуванні безпілотних систем, а також пошук шляхів їх зниження. Мета роботи – аналіз проблеми людського фактору у складних системах, які активно використовують інформаційно-комунікаційні технології, на прикладі безпілотних авіаційних систем. У статті наводиться критичний погляд на проблеми людського фактору у безпілотній авіації, які не вирішуються у рамках наявних підходів. Запропоновано модель айсберга керування змінами у сфері безпеки складних систем. Показано, що людський фактор у безпілотних системах виникає та тяжко знижується у наслідок нетрансдисциплінарності освіти сучасних інженерів та операторів. І головну роль в подоланні цієї проблеми є знання, спрямовані на розуміння можливостей і обмежень людини як головної ланки системи, що потім приймає рішення у процесі управління. Показано, що треба приділяти значну увагу розвитку саме ергономічного мислення у кожного, чия діяльність стосується життєвого циклу складної системи – розробників та тих, хто обслуговує, операторів, менеджерів, викладачів. Тобто саме трансдисциплінарність освіти спеціалістів – від розробників до операторів цифрових систем дозволяє знизити вказані ризики людино-машинної взаємодії.

Ключові слова: безпілотні системи; безпілотні літальні апарати; людський фактор; діяльність; людина-оператор; автоматизація; навчання

UNMANNED SYSTEMS: HUMAN FACTOR PROBLEMS**G. MYGAL¹, O. PROTASENKO²**

¹ Department of Automobile and Transportation Infrastructure, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, UKRAINE

² Department of hotel and restaurant business, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT With the creation of unmanned systems the development of ergonomics has entered a new stage in studying human-machine interaction and exacerbated safety issues. The requirements for safety, resistance to failures and reliability of the systems and their main connection – the human operator, were changed. New challenges – new human problems in digital systems. Digitization has made it possible to create unmanned systems, but it has also created an ergonomic contradiction between intentions and results. Its essence is that, in contrast to the expected increase in efficiency and safety, the increase in unmanned systems automation leads to an increase in the risks associated with human influence. Unmanned aerial systems have unique ergonomic challenges related to the specifics of the UAV operator and the technical features of the UAVs themselves as complex systems. In this regard, it is relevant to analyze the reasons for the continuing manifestations of the human factor phenomenon in the functioning of unmanned systems and the search for ways to reduce them. The purpose is to study the human factor problem in complex systems that use information and communication technologies, using the example of unmanned aircraft systems. The article takes a critical look at the human factor issues in unmanned aviation that are not being addressed by existing approaches. An iceberg model of change management in the safety of complex systems is proposed. It is shown that the human factor in unmanned systems arises and severely decreases because of the nontransdisciplinary nature of the education of modern engineers and operators. And the essential role in overcoming this problem is knowledge aimed at understanding the capabilities and limitations of a person as the main link of the system, which then makes decisions in the management process. It is shown that it is necessary to pay considerable attention to the development of ergonomic thinking among everyone whose activities relate to the life cycle of a complex system. That is, it is the transdisciplinarity of the education of specialists that allows for reducing the specified risks of human-machine interaction.

Keywords: unmanned systems; unmanned aerial vehicles; human factor; activity; human operator; automation; training

Вступ

Проблема безпеки складних динамічних систем (СДС) у непрогнозованих умовах є

міждисциплінарною і актуальною. Застосування кіберфізичних систем (Індустрія 4.0) викликало необхідність приділити особливу увагу людино-машинній взаємодії. Перехід до Індустрії 5.0

безпосередньо показав взаємозв'язок надійності кіберфізичних систем із людино-машинною комунікацією. Поява коботів та ускладнення сприйняття людиною нових роботизованих систем викликала увагу та інтерес до когнітивних можливостей людини [1,2]. Це у свою чергу викликало стрімкий розвиток наук, спрямованих на вирішення проблем людино-машинної взаємодії – ергономіки, інженерії людського чинника, інженерної психології, біоінженерії тощо.

Технологія майбутнього – безпілотні системи – вже сьогодні активно слугує людині. З появою безпілотних авіаційних систем (БАС) та безпілотних літальних апаратів (БПЛА) розвиток ергономіки увійшов у новий етап вивчення людино-машинної взаємодії у складних системах. Змінилися вимоги до безпеки, стійкості до відмов і надійності як самих систем так і головної їхньої ланки – людини-оператора. Нові технологічні виклики призвели до появи нових проблем, пов'язаних із діяльністю людини у цифрових системах. Цифровізація та зростання автоматизації дозволили суттєво просунутися у технологіях, але також і суттєво змінили вимоги до когнітивних здібностей і психофізіологічних можливостей сучасної людини.

З одного боку, цифровізація дозволила створити безпілотні системи, проте, з іншого боку, не дозволяє поки що вийти із замкнутого кола проблем «зростання автоматизації – прояв феномена людського фактора (ЛФ)». Наприклад, поява БАС і БПЛА означає новий тип діяльності, нове робоче місце і вимоги до людини-оператора, нові проблеми людського фактора, а отже, і необхідність вирішувати питання відбору, допуску та контролю операторів.

Це підтверджено статистикою: 67% аварій із БПЛА сталися через людський фактор. Здавалося б, це значно менше, ніж 80–90% аварій з пілотованими суднами через помилку екіпажу або диспетчера. Однак, наприклад, на сьогодні у світі зареєстровано близько 35 000 пасажирських літаків, без урахування авіації загального призначення. При цьому кількість БПЛА зростає швидкими темпами. Так, у 2010 році Федеральне управління цивільної авіації США передбачало, що до 2020 року використовуватимуть близько 15 000 дронів. У 2016 році припускали, що до 2020 року їх буде до 550 000. Однак, за оцінкою NY Times, у 2016 році в США було продано 2 800 000 цивільних БПЛА [3]. Очевидно, що кількість БПЛА просто неможна порівняти з кількістю пілотованих авіаційних суден, отже, на той факт, що з ними трапляються аварії через людський фактор, необхідно звернути увагу. Те, що відсоток аварій з вини людського чинника у безпілотних авіаційних системах не знизився особливо по відношенню до пілотованих систем, викликає сильне занепокоєння фахівців у галузі безпеки. Адже йдеться про масовий перехід до безпілотних систем у всіх сферах людської діяльності, тому так важливо зараз аналізувати сучасний стан та розробляти майбутні вимоги щодо

забезпечення безпеки і відмовостійкості процесів та систем у безпілотних системах, що інтенсивно використовують інформаційно-комунікаційні технології. У зв'язку з цим сьогодні актуальним є аналіз причин проявів феномену людського фактора у функціонуванні безпілотних систем, а також пошук шляхів їх зниження.

Мета роботи

Мета роботи – аналіз проблеми людського фактора у складних системах, що використовують інформаційно-комунікаційні технології, на прикладі безпілотних авіаційних систем.

Основна мотивація полягає у скороченні розриву між теоретичними концепціями, запропонованими для усунення проблем людського фактора при моделюванні і проектуванні складних систем, та практичним здійсненням діяльності людини у безпілотних системах, на прикладі БПЛА.

Виклад основного матеріалу

Безпілотні літальні апарати є одним із важливих технологічних досягнень сучасності. Термін «безпілотні літальні апарати» (БПЛА, Unmanned Aerial Vehicles, UAV) відноситься до компонента ширшого класу безпілотних авіаційних систем (БАС, Unmanned Aircraft System, UAS). БПЛА – це клас літальних апаратів, які можуть літати без присутності на борту пілотів [4,5]. Вони є складними функціональними системами, що включають БПЛА, пункт управління з кількома операторами, системи зв'язку та іншого додаткового обладнання, необхідного для обслуговування БПЛА.

Зростання інтересу до безпілотних літальних апаратів виправдано. Основні позитивні відмінності від керованих кораблів: знижені вимоги безпеки у повітрі; відсутність систем екологічного контролю, систем життєзабезпечення тощо; відносно невисока собівартість і низькі витрати на їх експлуатацію.

Слід зазначити, що спочатку БПЛА розробляли лише для військових місій. У міру вдосконалення технологій управління і зниження витрат їх використання розширилося до багатьох невійськових програм: спостереження і тактичне планування; моніторинг стану нафтопроводів та газопроводів, стану забруднення довкілля, охорона великих територій зі складним рельєфом у денний і нічний час, стану природних ресурсів тощо; управління натовпом, контроль ситуації (наприклад, під час концертів і спортивних заходів); доставка корисного навантаження, пожежогасіння, переміщення об'єктів у небезпечному середовищі, видалені місії невідкладної медичної допомоги та багато іншого.

Однак, незважаючи на очевидні та незаперечні переваги, аварії з БПЛА мають місце і навіть з важкими наслідками. Ще в 2001 р. вважалося, що аварійність БПЛА значно вища, ніж пілотованих

літаків [6,7]. При цьому за всі роки існування з технічним удосконаленням безпілотних авіаційних систем кількість механічних відмов зменшується, а кількість відмов через людський фактор залишається високою і конкурує з показниками для пілотованих повітряних суден [6-9].

Таким чином, технології змінюють суть людино-машинної взаємодії. Управління безпілотним літальним апаратом унікальне тим, що функціонально поєднує у собі кабіну пілота і стандартне офісне робоче місце. При цьому оператор БПЛА не є ні стандартним пілотом із надзвичайно високою "ціною помилки", ні офісним працівником із комп'ютерною оргтехнікою, "ціна помилки" якого відносна і залежить від складності завдань. Це призводить до помилок, когнітивних спотворень сприйняття інформації тощо.

Очевидною є суперечність: зростання автоматизації і збільшення кількості автономних безпілотних операцій підвищує важливість інших аспектів взаємодії людини і системи. Ергономічний феномен полягає в тому, що з дедалі більшим обмеженням людини в управлінні системою роль людино-машинної взаємодії тільки зростає, що

підтверджують статистичні дані по інцидентах з БПЛА. Саме в цьому зв'язку знову стала актуальною і набула розвитку теорія життєздатності Богданова та Ешбі. Активно розвиваються інженерія людського фактору і ризик-орієнтований підхід, когнітивні науки та технології.

Відомо, що в галузі авіації посібники з людського чинника та інструкції з безпеки розробляли і вдосконалювали протягом десятиліть на підставі аналізу авіаційних інцидентів. Тобто «ціна» цих знань є надзвичайно високою. По відношенню до БПЛА, такий підхід заздалегідь приречений на провал, оскільки кількість БПЛА, що перебувають у експлуатації, не можна порівняти з пілотованими апаратами. Отже, над нами постійно знаходиться значна кількість потенційно небезпечних об'єктів, керованих людьми. І тут виявляються всі типові проблеми людського фактору: випадкові і навмисні помилки, недостатній рівень знань, відсутність певних навичок; помилки організаційного характеру, наслідки стресу або хвороби людини тощо. Очевидно, що необхідно прогнозне управління ризиками, а не аналіз подій для напрацювання досвіду експлуатації (рис.1).



Рис. 1 – Модель «Айсберг» керування змінами у сфері безпеки складних систем

Тому сьогодні спостерігаємо ергономічну суперечність, яка полягає у такому: незважаючи на значні напрацювання авіаційної ергономіки та інженерної психології, наявні підходи щодо забезпечення безпеки літальних апаратів; розвинену методологічну базу інженерії людського фактору; стрімкий розвиток цифрових екосистем та високий рівень цифрової компетентності людей, з появою та стрімким розвитком БАС з'явилися нові виклики, пов'язані з діяльністю людини в них.

На наш погляд, на сьогодні, як і раніше, актуальними та невирішеними аспектами ергономічного забезпечення роботи авіаційних комплексів, тепер уже безпілотних, що потребують урахування особливостей людського фактору, є:

людино-машинний інтерфейс (неякісний інтерфейс у БАС, що відзначають багато дослідників); щодо операторів БПЛА: навчання майбутніх операторів та відбір до професії; відбір надійних операторів для керування БПЛА; забезпечення надійності діяльності оператора БПЛА; визначення поточного функціонального стану операторів БПЛА.

За час існування повітряних суден роль людини в них зазнала істотних змін у зв'язку зі зростанням автоматизації процесів управління. Спочатку роль пілота полягала в ручному управлінні, поступово вона перейшла до диспетчерського управління і операторського стеження, далі - до функціонування у «безпілотних» літаках. Тобто безпосередньо діяльність людини з керування літаком

еволюціонувала від використання приладів у кабіні та ручного управління до здійснення моніторингу приладів у кабіні, які керують літаком майже автоматично, до використання інструментів наземної станції для віддаленого керування літаком [4].

Безпілотна авіація показує унікальний набір проявів людського фактору [4–9]. Наприклад, пілот повітряного судна фізично сприймає й обробляє інформацію в кабіні. При цьому оператор БПЛА подумки сприймає та обробляє інформацію віддалено від об'єкта управління. Діяльність оператора БПЛА переважно є когнітивною. Він повинен мати значну швидкість реакції і розумових процесів, високий ступінь уваги. Високі темпи виконання завдань експлуатації БПЛА та значна тривалість місії викликає підвищене стресове навантаження і перевтому. Перевантаження через багатозадачність під час завдань управління БПЛА може поставити під загрозу виконання завдання і збільшити ймовірність невдачі або провалу місії [6,9]. Це погіршує стабільність і надійність діяльності операторів і призводить до відтоку кадрів. Найчастіше проблемами діяльності оператора БПЛА дослідники називають [4–9]: відмову від моніторингу, зниження пильності, надмірну залежність від стандартних значень, самозаспокоєність, проблеми отримання й обробки інформації (збільшення затримки при виявленні проблем, недоотримання інформації, спотворення інформації при отриманні та аналізі) [5].

Унікальними ергономічними проблемами операторів БПЛА є [13,14]:

1) зниження сенсорних сигналів (спотворення зорового контакту з об'єктами (камера охоплює обмежене поле зору, зниження слухових, пропріоцептивних та нюхових відчуттів));

2) психологічне й емоційне сприйняття станції управління (вони більше нагадують диспетчерські чи офісні робочі станції, ніж традиційна кабіна);

3) нереальні, з погляду фізіології людини, терміни виконання місії (наприклад, понад 24 години) супроводжується ризиками, пов'язаними зі стомленням і далі необхідністю передачі управління іншому оператору, що підвищує ризики помилок;

4) можливість аварійного припинення польоту та знищення БПЛА призводить до появи таких проблем, як переоцінка ситуації і своєї ролі в ній, навмисні дії, ризики наземних об'єктів тощо;

5) довіра до автоматизації. На відміну від літака, у БПЛА повністю відсутнє ручне управління.

Постійне вдосконалення та автоматизація СДС супроводжується збільшенням кількості джерел інформації (сенсорів, датчиків тощо), що породжує ще більшу різноманітність:

1) інформаційних потоків різної природи;

2) способів їхньої обробки;

3) типів візуалізації і засобів моделювання й аналізу.

Тому, незважаючи на значні зусилля розробників складних систем, ніде феномен

автоматизації не проявляється більшою мірою, ніж у безпілотних авіаційних системах та управлінні БПЛА. Підвищення автоматизації пов'язане зі збільшенням розумового навантаження, втратою усвідомлення ситуації і навіть погіршенням навичок. Автоматизація викликає довіру та прийняття оператора, а також самозаспокоєність. Саме самозаспокоєність через автоматизацію відзначено Parasuraman та ін. як фактор, що сприяє багатьом авіаційним подіям, що знижує надійність системи [10-15]. При цьому підвищення рівня автоматизації не призводить до зниження робочого навантаження або підвищення продуктивності БАС.

Крім того, виникають нові проблеми людинно-машинної взаємодії. Так, якщо четверта промислова революція – це впровадження в життя людини й індивідуальна оптимізація через застосування інформаційно-комунікаційних технологій, то п'ята – це оптимізація суспільства через інтеграцію кіберпростору і фізичного простору [13-15]. У той час, як головна проблема Індустрії 4.0 – це автоматизація, Індустрія 5.0 передбачає синергію між людьми та автономними машинами. І людині доведеться працювати разом із роботами та виконувати діяльність нарівні з ними. Коботи помічатимуть, розумітимуть і відчуватимуть не тільки людину, але також цілі й очікування людини-оператора. Наприклад, створена інтуїтивно зрозуміла система наскрізної взаємодії між людиною та безпілотним літальним апаратом (An Intuitive End-to-End Human-UAV Interaction System), в якій природними позами людини можна здійснювати керування БПЛА. Тобто п'ята промислова революція – це злиття фізичного світу та трьох її основних елементів – інтелектуальних пристроїв, систем і автоматизації. Однак у центрі всіх взаємозв'язків буде людський інтелект, когнітивні здібності людини та психофізіологічні можливості, як показано у роботах [15-19].

Обговорення результатів

Безпека технологій і обладнання, безпека діяльності людини в цьому середовищі – ознака найвищої кваліфікації людини. Уміння запобігти ризикам і мінімізувати можливі негативні наслідки, пов'язані із людським фактором, це сьогодні одна з найсуттєвіших професійних навичок. Очевидно, сьогодні між освітньою галуззю і потребами суспільства сформувалося протиріччя: необхідність забезпечувати безпеку складних систем (на транспорті, в енергетиці тощо) намагаються вирішити без первинної ланки – навчання спеціалістів, що будуть забезпечувати безпеку.

Тобто саме помилки при проектуванні безпілотних систем, не врахування психофізіологічної і когнітивної специфіки людини-оператора при розробці інтерфейсу та їх технічних якостей та можливостей, є підґрунтям для створення проблеми

безпеки у БПЛА. Тому сьогодні при проектуванні і експлуатації складних систем, до яких належить БПЛА, необхідно враховувати індивідуальні

можливості й обмеження людини як головної ланки системи, що потім приймає рішення у процесі управління [17-19] (рис. 2).



Рис. 2 – Міждисциплінарність у навчанні фахівців – з урахуванням сучасних викликів

Конвергентне об'єднання інженерних наук, інформаційних технологій, психології, біоінженерії, нейро- і когнітивних наук дозволяють створити умови для забезпечення безпеки, надійності і стійкості складних людино-машинних систем, що проектуються та експлуатуються [20-25].

Треба приділяти значну увагу розвитку саме ергономічного мислення у кожного, чия діяльність стосується життєвого циклу складної системи – розробників та тих хто обслуговує, операторів та менеджерів. Тому що це система поглядів індивіда на розвиток складних людино-машинних систем і ролі людини в них; це розуміння складних процесів людино-машинної взаємодії; вміння прогнозувати ризики в цих системах і планувати розробку систем з попереднім урахуванням цих ризиків. Зрештою ергономічне мислення для фахівця сьогодення, а тим більше майбутнього, наряду з екологічним і критичним мисленням є ознакою освіченості, є фундаментом високої кваліфікації спеціаліста [24,25].

Проблема підготовки операторів БПЛА має кілька аспектів, оскільки уже сьогодні використання дронів на робочому місці викликає ряд загроз. Поява розумних інтерфейсів, які здатні до самонавчання, виявило проблему розуміння людської природи. Можливість управляти безпілотними системами стала доступною широкому колу спеціалістів, що не мають ключових знань для забезпечення надійного управління БПЛА – про сприйняття й обробку інформації людиною, помилки оператора, психологію поведінки в екстремальних ситуаціях та ергономічні властивості систем. Більшість дисциплін когнітивного

й ергономічного напрямків у провідних вузах світу покликані дати майбутнім спеціалістам знання в області людино-машинної взаємодії. Необхідно лише усвідомлення, що без таких знань неможлива якісна технічна розробка. Саме трансдисциплінарність освіти спеціалістів – від розробників до виконавців і операторів цифрових систем дозволяє знизити вказані ризики людино-машинної взаємодії [20-25].

Висновки

Необхідно визнати, що з появою і стрімким розвитком безпілотних авіаційних систем з'явилися нові виклики, пов'язані з діяльністю людини у них. У безпілотних системах проблема людського чинника є досить гострою. Безпілотні авіаційні системи мають унікальні ергономічні проблеми, пов'язані з особливостями діяльності оператора БПЛА і технічними особливостями самих БПЛА як складних систем. Сьогодні загострилися важливі аспекти ергономічного забезпечення роботи безпілотних авіаційних комплексів, які потребують урахування особливостей людського фактору під час проектування, експлуатації та навчання операторів.

Нагальною потребою є також впровадження ергономіки як обов'язкової дисципліни для інженерів-проектувальників складних систем. Саме розвитку ергономічного мислення у майбутніх інженерів треба приділяти значну увагу, тому що це система поглядів індивіда на розвиток складних людино-машинних систем і ролі людини в них; це розуміння складних процесів людино-машинної взаємодії; вміння

прогнозувати ризики в цих системах і планувати розробку систем з попереднім урахуванням цих ризиків. Зрештою ергономічне мислення для інженера сьогодні, а тим більше майбутнього, наряду з екологічним і критичним мисленням є ознакою освіченості і підґрунтям високої кваліфікації спеціаліста.

Список літератури

1. Nahavandi S. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution. *Sustainability*. 2019. № 1 (16). № 4371. doi: 10.3390/su11164371.
2. Reiman A., Kaivo-oja J., Parviainen E., Takala Esa-Pekka, Lauraeus Th. Human factors and ergonomics in manufacturing in the industry 4.0 context – A scoping review. *Technology in Society*. 2021. № 65. Article id: 101572. doi: 10.1016/j.techsoc.2021.101572.
3. Wingfield N. A Field Guide to Civilian Drones. *NY Times*. August, 2016. URL: https://web.archive.org/web/20161119145203/http://www.nytimes.com/interactive/2015/technology/guide-to-civilian-drones.html?_r=0
4. Duffy V. G., Landry S. J., Lee J. D., Stanton N. *Human-Automation Interaction: Transportation*. Springer Nature, 2022. 673 p.
5. Chiou E. K., Lee J. D. Trusting Automation: Designing for Responsivity and Resilience. *Human Factors*. 2021. doi: 10.1177/00187208211009995.
6. Lee J. D. Perspectives on Automotive Automation and Autonomy. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*. 2018. 12 (1). P. 53–57. doi: 10.1177/15553434177264.
7. Filippo De Florio. *Airworthiness of Unmanned Aircraft Systems (UAS)*. Airworthiness (Third Edition), 2016. doi: 10.1016/B978-0-08-100888-1.00011-2.
8. Jean-Louis Roch. UAV Classification and Associated Mission Planning. In *Multi-Rotor Platform-based UAV Systems*. 2020. P. 27-44. doi: 10.1016/C2017-0-00161-1.
9. Cook S. P., Brooks D., Cole R., Hackenberg D., Raska V. *Defining well-clear for unmanned aircraft systems*. AIAA Infotech@Aerospace. 2015. P. 0481. doi: 10.2514/6.2015-0481.
10. Sony M., Naik S. Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal*. 2020. 27(7). P. 2213–2232. doi: 10.1108/BIJ-09-2018-0284.
11. Zheng T., Ardolino M., Bacchetti A., Perona M. The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*. 2020. 59(6). P. 1922–1954. doi: 10.1080/00207543.2020.1824085.
12. Colli M., Berger U., Bockholt M. T. A maturity assessment approach for conceiving context-specific roadmaps in the Industry 4.0 era. *Annual Reviews in Control*. 2019. 48. P. 165–177. doi: 10.1016/j.arcontrol.2019.06.001.
13. Lee J. D., Wickens C. D., Liu Y., Boyle L. N. *Designing for People: An introduction to human factors engineering*. Charleston, SC: CreateSpace, 2017. 692 p.
14. Hancock P. A., Lee J. D., Senders J. W. Attribution errors by people and intelligent machines. *Human factors*. 2021. doi: 10.1177/001872082110363.
15. Stephen J. Guastello. *Human Factors Engineering and Ergonomics: A Systems Approach*. 2nd Edition, 2022.
16. Ciccarelli M. A system to improve the physical ergonomics in Human-Robot Collaboration. *Procedia Computer Science*. 2022. 200. P. 689–698. doi: 10.1016/j.procs.2022.01.267
17. Protasenko O., Mygal G. Human Factors: The Problem of Man-machine Interaction in the Digitalization Conditions. *Scientific Journal of Polonia University*. 2021. № 48. № 5. P. 198–210. doi: 10.23856/4825.
18. Mygal G., Mygal V., Protasenko O., Klymenko I. Cognitive Aspects of Ensuring the Safety, Dependability and Stability of a Dynamic System's Functioning in Extreme Conditions. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021. Vol. 367. doi: 10.1007/978-3-030-94259-5_18.
19. Mygal G., Protasenko O. Human resources are a factor in applying of man-machine systems safety. *Municipal Economy of Cities*. 2020. № 6(159). P. 139–146. doi: 10.33042/2522-1809-2020-6-159-139-146.
20. Rigolot C. Transdisciplinarity as a discipline and a way of being: complementarities and creative tensions. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2020. Vol. 7 (1). 100. doi: 10.1057/s41599-020-00598-5.
21. Bernstein J. H. Transdisciplinarity: A Review of Its Origins, Development, and Current Issues. *Journal of Research Practice*. 2015. 11(1). Article R1.
22. Hannon D., Rantanen E., Sawyer B., Hughes A., Darveau K., O'Donnell R. The education of the human factors engineer in the age of data science. *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*. 2020. № 64 (1). P. 480-484. doi: 10.1177/1071181320641109.
23. Marvel J. A., Bagchi S., Zimmerman M., Antonishek B. Towards Effective Interface Designs for Collaborative HRI in Manufacturing: Metrics and Measures. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*. 2020. 9(4). P. 1–55. doi: 10.1145/3385009.
24. Mygal V., Mygal G., Mygal S. Transdisciplinary convergent approach - human factor. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2021. № 4(100). P. 7-21. doi: 10.32620/reks.2021.4.01.
25. Mygal V., Mygal G., Mygal S. Cognitive Space for Online and Offline Learning: A Convergent Approach. *The Educational Review, USA*. 2022. № 6(4). P. 109–123. doi: 10.26855/er.2022.04.001.

References (transliterated)

1. Nahavandi S. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution. *Sustainability*, 2019, no. 1 (16), no 4371, doi: 10.3390/su11164371.
2. Reiman A., Kaivo-oja J., Parviainen E., Takala Esa-Pekka, Lauraeus Th. Human factors and ergonomics in manufacturing in the industry 4.0 context – A scoping review. *Technology in Society*, 2021, no. 65, article id: 101572, doi: 10.1016/j.techsoc.2021.101572.
3. Wingfield N. A Field Guide to Civilian Drones. *NY Times*. August, 2016. Available at: https://web.archive.org/web/20161119145203/http://www.nytimes.com/interactive/2015/technology/guide-to-civilian-drones.html?_r=0.
4. Duffy V. G., Landry S. J., Lee J. D., Stanton N. *Human-Automation Interaction: Transportation*. Springer Nature, 2022. 673 p.
5. Chiou E. K., Lee J. D. Trusting Automation: Designing for Responsivity and Resilience. *Human Factors*, 2021, doi: 10.1177/00187208211009995.

6. Lee J. D. Perspectives on Automotive Automation and Autonomy. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2018, 12 (1), pp. 53–57, doi: 10.1177/15553434177264.
7. Filippo De Florio. *Airworthiness of Unmanned Aircraft Systems (UAS)*. Airworthiness (Third Edition), 2016, doi: 10.1016/B978-0-08-100888-1.00011-2.
8. Jean-Louis Roch. UAV Classification and Associated Mission Planning. In *Multi-Rotor Platform-based UAV Systems*. 2020, pp. 27-44, doi: 10.1016/C2017-0-00161-1.
9. Cook S. P., Brooks D., Cole R., Hackenberg D., Raska V. Defining well-clear for unmanned aircraft systems. *AIAA Infotech@Aerospace*, 2015, p. 0481, doi: 10.2514/6.2015-0481.
10. Sony M., Naik S. Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 2020, 27(7), pp. 2213–2232, doi: 10.1108/BIJ-09-2018-0284.
11. Zheng T., Ardolino M., Bacchetti A., Perona M. The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 2020, 59(6), pp. 1922–1954, doi: 10.1080/00207543.2020.1824085.
12. Colli M., Berger U., Bockholt M. T. A maturity assessment approach for conceiving context-specific roadmaps in the Industry 4.0 era. *Annual Reviews in Control*, 2019, 48, pp. 165–177, doi: 10.1016/j.arcontrol.2019.06.001.
13. Lee J. D., Wickens C. D., Liu Y., Boyle L. N. *Designing for People: An introduction to human factors engineering*. Charleston, SC. CreateSpace, 2017. 692 p.
14. Hancock P. A., Lee J. D., Senders J. W. Attribution errors by people and intelligent machines. *Human factors*, 2021. doi: 10.1177/001872082110363.
15. Stephen J. Guastello. *Human Factors Engineering and Ergonomics: A Systems Approach*. 2nd Edition, 2022.
16. Ciccarella M. A system to improve the physical ergonomics in Human-Robot Collaboration. *Procedia Computer Science*, 2022, 200, pp. 689–698, doi: 10.1016/j.procs.2022.01.267.
17. Protasenko O., Mygal G. Human Factors: The Problem of Man-machine Interaction in the Digitalization Conditions. *Scientific Journal of Polonia University*, 2021, no. 48 (5), pp. 198–210, doi: 10.23856/4825.
18. Mygal G., Mygal V., Protasenko O., Klymenko I. Cognitive Aspects of Ensuring the Safety, Dependability and Stability of a Dynamic System's Functioning in Extreme Conditions. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2021, Vol. 367, doi: 10.1007/978-3-030-94259-5_18.
19. Mygal G., Protasenko O. Human resources are a factor in applying of man-machine systems safety. *Municipal Economy of Cities*, 2020, no. 159(6), pp. 139–146, doi: 10.33042/2522-1809-2020-6-159-139-146.
20. Rigolot C. Transdisciplinarity as a discipline and a way of being: complementarities and creative tensions. *Humanities and Social Sciences Communications*, 2020, Vol. 7 (1), 100, doi: 10.1057/s41599-020-00598-5.
21. Bernstein J. H. Transdisciplinarity: A Review of Its Origins, Development, and Current Issues. *Journal of Research Practice*, 2015, 11(1), Article R1.
22. Hannon D., Rantanen E., Sawyer B., Hughes A., Darveau K., O'Donnell R. The education of the human factors engineer in the age of data science. *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, 2020, no. 64 (1), pp. 480-484, doi: 10.1177/1071181320641109.
23. Marvel J. A., Bagchi S., Zimmerman M., Antonishek B. Towards Effective Interface Designs for Collaborative HRI in Manufacturing: Metrics and Measures. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 2020, no. 9(4), pp. 1–55, doi: 10.1145/3385009.
24. Mygal V., Mygal G., Mygal S. Transdisciplinary convergent approach – human factor. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2021, no. 4 (100), pp. 7-21, doi: 10.32620/reks.2021.4.01.
25. Mygal V., Mygal G., Mygal S. Cognitive Space for Online and Offline Learning: A Convergent Approach. *The Educational Review, USA*, 2022, no. 6 (4), pp. 109–123, doi: 10.26855/er.2022.04.001.

Відомості про авторів (About authors)

Мигаль Галина Валеріївна – доктор технічних наук, професор, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», професор кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-9862-9338; e-mail: g.mygal@khai.edu.

Galina Mygal – Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, The National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Professor, Department of Automobile and Transportation Infrastructure; Kharkiv, Ukraine; ORCID ID: 0000-0002-9862-9338; e-mail: g.mygal@khai.edu.

Протасенко Ольга Федорівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, доцент кафедри готельного і ресторанного бізнесу; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-8203-5703; e-mail: olha.protasenko@hneu.net.

Olga Protasenko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Simon Kuznets Kharkov National University of Economics, Docent, Department of hotel and restaurant business; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-8203-5703; e-mail: olha.protasenko@hneu.net.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Мигаль Г. В., Протасенко О. Ф. Безпілотні системи: проблеми людського фактора. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2022. № 4 (14). С. 46-52. doi:10.20998/2413-4295.2022.04.07.

Please cite this article as:

Mygal G., Protasenko O. Unmanned systems: human factor problems. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2022, no. 4(14), pp. 46–52, doi:10.20998/2413-4295.2022.04.07.

Надійшла (received) 28.11.2022