

УДК 656.6

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО РОЗРОБКИ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ

Носов П.С.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Зростаючий рівень автоматизації складних технічних систем і водночас стійка тенденція аварійності, значна частка яких пов'язана з людським фактором, зумовлює науковий інтерес до розробки ергатичних систем в транспортній галузі [1]. Незважаючи на вдосконалення алгоритмів керування, сучасні підходи до підготовки операторів [2], спостерігаються прояви як неналежної інтерпретації даних так і неочікуваних реакцій у критичних ситуаціях. Крім того, із зростанням складності інтерфейсів і процедур експлуатації підвищується когнітивне навантаження екіпажу, що створює «зону невизначеності» та значно збільшує ризик відмов.

У цьому контексті системний огляд методів ризик-менеджменту, моделювання поведінки операторів, класифікації ситуацій та розробки стратегій захисту дозволяє не лише узагальнити наукові підходи, а й визначити ключові прогалини, що є критично важливими для підвищення безпеки та надійності ергатичних систем.

Основний матеріал дослідження. Враховуючі актуальність зазначених напрямів підвищення безпеки експлуатації транспортних засобів, проведемо аналіз літературних джерел.

У роботі [3], узагальнено, що управління ризиком в авіації базується на чіткій структурі: від ідентифікації небезпек і класифікації ситуацій до оцінки ймовірності та тяжкості наслідків із подальшим прийняттям рішень і впровадженням заходів зниження ризику в реальному часі. Ефективна підтримка оператора досягається через мультимодальні сигнали, лаконічні алгоритми дій та динамічне регулювання рівня автоматизації, а ергономічне проектування інтерфейсів сприяє швидкому сприйняттю критичних даних і мінімізації когнітивного навантаження. Таким чином, поєднання методології оцінки ризику з адаптивними технологічними й організаційними рішеннями забезпечує своєчасне виявлення загроз і прийняття оптимальних дій екіпажем.

У дослідженні [4], автор обґрунтував важливість синергетичного підходу до аналізу людського фактора в ергатичних системах морського транспорту, поєднавши ергономічні, психологічні та технічні аспекти в єдину концептуальну рамку. Автор запропонував модель оптимізації взаємодії екіпажу й автоматизованих систем з практичними рекомендаціями щодо тренінгів, адаптивних інтерфейсів та мультимодальних сигнальних систем. Науковий вклад полягає в уніфікації матриці взаємодії людина–техніка, що створює підґрунтя для подальших досліджень. Для розширення наукового спектру у перспективі постає необхідність в розробці математичних моделей ризику для практичного впровадження запропонованих підходів.

У публікації [5] чітко окреслено проблему невизначеності в ергатичних системах, введено поняття «невизначеності стану» яке розділено на стохастичну та нестохастичну форми. Проведено ґрунтовну класифікацію факторів невизначеності, від генетично зумовлених реакцій людини до змінних метео- і виробничих умов, та виокремлено шляхи їх мінімізації через підвищення інформаційної складової. Автор запропонував власну систематизацію факторів, практична значимість якої полягає в архітектурі моніторингових систем і рекомендаціях для програм сертифікації персоналу. Однак дослідження потребують емпіричної верифікації і моделювання впливу факторів, що вказує на потребу в розробці адаптивних алгоритмів «перемикання» режимів керування.

У роботі [6] було порівняно три лінійні передавальні моделі оператора в CISO-задачі керування транспортним засобом — екскаватором. Науковий інтерес полягав в аналізі керування режимів роботи і формалізації. Ідентифікація параметрів виконана методом

найменших квадратів за експериментальними даними. Формалізація базується на лінійній інерційній динаміці з експоненціальною затримкою, що моделює когнітивний час реакції, але не враховує нелінійні й адаптивні ефекти при втомі чи екстремальних навантаженнях.

Подальший аналіз формалізації розкрито в роботі [5], де запропоновано комплексну методологію моделювання ергатичних систем із динамічним захистом на базі сингулярних диференціальних рівнянь із малим параметром: поєднано асимптотичні та чисельні методи для наближень розв'язків, формалізовано оптимізацію вартості захисту та досліджено стійкість і хаотичні режими. Проведено аналіз примежового шару із локалізованими сингулярними моделями й обчислювальними алгоритмами для задачі Коші зі змінними параметрами, а також у формалізації функцій вартості. Водночас в обмеженнях підходу залишається інтеграція адаптивних алгоритмів спостереження, що визначає напрямки подальших досліджень.

У статті [8] визначено системну невідповідність між формально підтвердженою функціональною безпекою ергатичних систем управління та їх реальною надійністю в експлуатації: експоненційний закон розподілу відмов демонструє, що захисні механізми лише відкладають прояв небезпечного стану, тоді як у допоміжному режимі ймовірність відмови стрімко перевищує допустимі рівні вже за першу годину. Запропоновано розширити методику оцінки безпеки, уніфікуючи показники безвідмовності (λ) та інтенсивності людських помилок ($\lambda_{\text{люд}}$) із процедурою функціонального тестування, і включити в випробування моделювання захисних режимів із врахуванням часу допустимого простою та ймовірності помилок. Формалізація через подвійну експоненційну модель із «зсувом» і «умовно-захисним» інтервалом чітко відокремлює штатний і допоміжний ризику, однак лінійність і стаціонарність λ -параметрів та відсутність розподілів і кореляцій обмежують застосування моделі.

В публікації [9] описано ймовірнісне моделювання надійності складних ергатичних систем в авіації, представивши трьохфазну марківську модель із двовимірним простором станів внутрішніх технічних підсистем та зовнішніх умов експлуатації. Запропонована декомпозиція ймовірностей переходів із експоненційним розподілом часу перебування забезпечує чітке формалізоване оцінювання безвідмовності, а алгоритми проектування й графі функціонування дають інструментарій для моніторингу та планування технічного обслуговування й підготовки екіпажу. Хоча запропонована модель чітко формалізує надійність з урахуванням внутрішніх і зовнішніх процесів, її базування на стаціонарних експоненційних розподілах та відсутність адаптивних і нелінійних механізмів ускладнює моделювання в реальних динамічних умовах експлуатації транспортного засобу.

У статті [10], авторами обґрунтовано ефективність експертних методів для оцінювання діяльності операторів ергатичних систем, виділивши циклічний характер операторської діяльності (сприйняття-прийняття рішення-контроль), розробивши алгоритм фільтрації експертів на основі коефіцієнта конкордації та чітку чотириступеневу процедуру опитування й обробки результатів. Науковим доробком авторів є інтеграція статистичних методів узгодженості з алгоритмічною валідацією експертної групи. Водночас відсутність аналізу чутливості вибору порогів свідчить про потребу в подальшому дослідженні статистичних параметрів і розширенні методів узгодженості задля підвищення надійності та гнучкості підходу.

Висновок. Підводячи підсумок, можна визначити, що сучасні методи моделювання й управління ергатичними системами спираються на чітко побудовані структури керування ризиками, а також синергетичні підходи до людино-технічної (машинної) взаємодії [11–13]. Водночас усі дослідження виявляють спільні обмеження: лінійність формалізацій, стаціонарні розподіли часу до відмов, недостатня адаптивність алгоритмів і брак кількісної верифікації людських параметрів операторів транспортних засобів. Для підвищення реальної безпеки та надійності ергатичних систем необхідно розвивати нелінійні моделі, інтегрувати термінальні показники інтенсивності відмов та помилок людини - оператора, а також більше спиратись на дані експериментів і тренажерних симуляцій.

Такий підхід створить науково обґрунтовану базу для розробки інтегрованих інструментів у ергатичних системах транспорту для підвищення їх безпеки експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nosov P. S., Palamarchuk I.V., Safonov M.S., Novikov V.I. Modeling the manifestations of the human factor of the Maritime crew // Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro) № 5 (77). — 2018. Pages 82-92. <https://doi.org/10.15802/stp2018/147937>.
2. Носов П.С., Тонконогий В.М., Яковенко О.Є. Застосування адаптивних функцій для впливу на модель знань студента // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одесса: ОНПУ. Вып.1(25). 2006. — С. 118–122.
3. Скрипець А. В., Буров О. Ю., Павлов В. В. Інженерна психологія, ергономіка та людський чинник в авіації : навч. посіб. — Київ : НАУ-друк, 2010. — 708 с.
4. Мельник О. М. Дослідження впливу фактора людини на ергатичні системи управління на транспорті / О. М. Мельник // Транспортні системи та технології перевезень. — 2023. — № 25. — С. 10–18. — Режим доступу: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/284487>.
5. Бочковський А. П. Невизначеність стану ергатичних систем: фактори, причини та шляхи мінімізації / А. П. Бочковський // Інженерія середовища та безпека життєдіяльності. — 2016. — № 14(2). — С. 114–121.
6. Мрачковський Д. Розробка математичної моделі оператора в людино-машинній системі керування кар'єрним екскаватором / Д. Мрачковський // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. — 2023. — Том 62, № 3. — С. 41–49. — Режим доступу: <https://doi.org/10.32782/2072-2052.2023.3.62.4>
7. Альджаафрах М. Р. А. А. Математичне моделювання та обчислювальні методи дослідження ергатичних систем з динамічним захистом : автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. Р. А. А. Альджаафрах. — Харків : ХНУРЕ, 2018. — 28 с.
8. Каменів О. Ю. Проблематика підходів до дослідження безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті / О. Ю. Каменів // Наука та прогрес транспорту. – Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізнич. транспорту. — 2013. — Вып. 2(44). — С. 7–16. — ISSN 2307-3489.
9. Юрченко О. І., Готун О. В. Дослідження надійності ергатичної системи «Повітряний корабель–екіпаж–середовище» / О. І. Юрченко, О. В. Готун // Безпека авіац. транспорту. — 2000. — Вып. 1–2. — С. 241–243. — ISSN 1727-3088.
10. Stenin A., Gubskiy A., Polshakova O. Expert evaluation of the ergatic systems operators activity / A.Stenin, A. Gubskiy, O. Polshakova // *Радиоелектроніка, інформатика, управління*. — 2013. — № 1. — С. 141–143. — <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2013-1-22>.
11. Popovych, I. S., Cherniavskiy, V. V., Dudchenko, S. V., Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Yevdokimova, O. O., Burak, O. O. & Mateichuk, V. M. (2020). Experimental Research of Effective «The Ship's Captain and the Pilot» Interaction Formation by Means of Training Technologies. *Revista ESPACIOS*, Vol. 41(№11). Page 30. Retrieved from: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n11/20411130.html>
12. Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Serhii Zinchenko, Vasyl Cherniavskiy, Viktor Plokhikh, Halyna Nosova (2020). The research on anticipation of vessel captains by the space of Kelly's graph. *Revista Inclusiones*, Vol: 7 num Especial, pp. 90–103.
13. Zinchenko, S., Ben, A., Nosov, P., Popovych, I., Mateichuk, V., & Grosheva, O. (2020). The vessel movement optimisation with excessive control, *Bulletin of university of Karaganda. Physics*, 99(3), 86–96. <https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96>.