

## ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКЗОСКЕЛЕТІВ У ПРАКТИКУ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ

*Шаломов В. А., к.т.н., доц. (каф. ОПЦЕБ УДУНТ ННІ ПДАБА, м.Дніпро);  
Пилипенко О. В., к.т.н., доц. (каф. ОПЦЕБ УДУНТ ННІ ПДАБА, м.Дніпро);  
Погребняк О. А., магістр (гр. ОКІз-25мн, УДУНТ ННІ ПДАБА, м.Дніпро);  
Хряп П. Д., аспірант (гр. ЦБ-23а, УДУНТ ННІ ПДАБА, м.Дніпро);  
Жирков В. Ю., аспірант (гр. ЦБ-23а, УДУНТ ННІ ПДАБА, м.Дніпро)*

**Анотація.** У роботі розглянуто перспективи впровадження екзоскелетів у практику пожежно-рятувальних робіт як засобу зниження фізичного навантаження та підвищення ефективності дій рятувальників. Проаналізовано сучасний стан розвитку екзоскелетних систем та можливості їх застосування в умовах аварійно-рятувальних операцій. Okремо підкреслено актуальність впровадження таких технологій в Україні в умовах зростання кількості надзвичайних ситуацій, зумовлених воєнними діями.

**Ключові слова:** екзоскелети, пожежно-рятувальні роботи, надзвичайні ситуації, фізичне навантаження, цивільний захист, безпека праці.

**Abstract.** This paper examines the prospects for introducing exoskeletons into fire and rescue operations as a means of reducing physical strain and improving the effectiveness of rescue workers. It analyzes the current state of development of exoskeleton systems and the possibilities for their application in emergency rescue operations. The relevance of introducing such technologies in Ukraine is particularly emphasized in light of the growing number of emergencies caused by military actions.

**Keywords:** exoskeletons, fire and rescue operations, emergencies, physical exertion, civil protection, occupational safety.

**Вступ.** Сучасний етап розвитку суспільства характеризується інтенсивним науково-технічним прогресом, який охоплює практично всі галузі економіки України. Особливо відчутні ці процеси у сфері безпеки життєдіяльності та цивільного захисту, де активно впроваджуються новітні зразки пожежно-рятувальної техніки, спеціального обладнання та робототехнічних комплексів різного призначення. Використання інноваційних технологій спрямоване не лише на підвищення ефективності виконання завдань, але й на мінімізацію ризиків для життя і здоров'я особового складу.

Професійна діяльність пожежних супроводжується значними фізичними навантаженнями, роботою в умовах підвищених температур, обмеженої видимості та дефіциту часу на прийняття рішень. За даними досліджень, маса спорядження пожежного може сягати 20–30 кг, що суттєво підвищує навантаження на опорно-руховий апарат і сприяє швидкому розвитку втоми. Значна частка виробничих травм пов'язана з підняттям важких предметів, тривалим статичним навантаженням і виконанням робіт у незручних положеннях тіла [1-3].

Результати сучасних досліджень свідчать, що використання екзоскелетів дозволяє знизити навантаження на окремі групи м'язів на 20–40%, а також зменшити рівень втоми під час виконання повторюваних або тривалих фізичних операцій. У порівнянні з виконанням аналогічних завдань без застосування екзоскелетів, спостерігається підвищення витривалості працівників, зниження ризику травмування та покращення загальної ефективності праці [4].

На сьогодні провідні підприємства та організації все ширше застосовують сучасні інженерні рішення, орієнтовані на оптимізацію трудових процесів, зниження фізичного навантаження на працівників і зменшення рівня виробничого травматизму. У цьому контексті особливу увагу привертають індивідуальні технічні засоби підтримки людини, серед яких вагоме місце займають промислові екзоскелети.

Екзоскелети є перспективним напрямом розвитку допоміжних технологій, що дозволяють суттєво полегшити виконання важких фізичних робіт, підвищити витривалість оператора та забезпечити стабільність його функціонального стану під час тривалих навантажень [5, 6]. З огляду на специфіку діяльності пожежних, яка часто пов'язана з екстремальними умовами та значними фізичними зусиллями, впровадження таких технологій набуває особливої актуальності.

**Аналіз стану питання.** Сучасні дослідження свідчать, що різні модифікації екзоскелетів можуть бути ефективно застосовані у діяльності пожежно-рятувальних підрозділів під час ліквідації наслідків пожеж, природних і техногенних надзвичайних ситуацій, а також при проведенні аварійно-рятувальних робіт, зокрема розбору завалів зруйнованих будівель і споруд. Використання таких технічних засобів дозволяє не лише зменшити фізичне навантаження на особовий склад, але й підвищити рівень їхньої безпеки. Зокрема, екзоскелети можуть частково виконувати функцію механічного захисту, знижуючи ризик травмування внаслідок падіння уламків конструкцій або ударних навантажень, а в окремих випадках – сприяти збереженню життя рятувальника [1].

Аналіз практики застосування екзоскелетів у різних галузях промисловості (машинобудування, будівництво, логістика) демонструє їх ефективність при виконанні важких, повторюваних і монотонних операцій, що супроводжуються значними фізичними навантаженнями [5]. З урахуванням цього можна стверджувати, що впровадження подібних технологій у пожежно-рятувальну сферу є перспективним напрямом розвитку засобів індивідуальної підтримки працівників.

Закордонний досвід свідчить про активне впровадження екзоскелетних систем у практичну діяльність. Так, у США компанія Sarcos Robotics розробила екзоскелет Sarcos Guardian XO, який дозволяє оператору без значних зусиль підіймати вантажі масою до 90 кг та використовується у промислових і потенційно рятувальних сценаріях. У Японії широкого поширення набули екзоскелети сімейства HAL exoskeleton, що застосовуються для підвищення фізичних можливостей людини та зменшення навантаження на опорно-руховий апарат. У країнах Європейського Союзу активно впроваджуються легкі пасивні екзоскелети в логістиці та будівництві, що сприяє зниженню рівня професійного травматизму та підвищенню витривалості персоналу [6].

Діяльність пожежних і рятувальників характеризується високими енерговитратами, що обумовлено інтенсивністю фізичних навантажень та складністю умов виконання завдань. Результати наукових досліджень підтверджують, що виконання спеціальних робіт на пожежі супроводжується значним напруженням функціональних систем організму та швидким розвитком втоми [4].

Водночас, незважаючи на наявність позитивного досвіду застосування екзоскелетів у промисловості, військовій сфері та інших галузях, в Україні питання їх використання у пожежно-рятувальних підрозділах залишається недостатньо дослідженим і науково обґрунтованим [4]. Відсутність системних експериментальних досліджень та адаптованих технічних рішень стримує широке впровадження цих технологій у практичну діяльність.

У зв'язку з цим доцільним є проведення комплексних експериментальних досліджень, спрямованих на оцінку ефективності використання екзоскелетів у різних умовах службової діяльності пожежних-рятувальників. Крім того, актуальним завданням є розробка концептуальних підходів до їх впровадження та технічного вдосконалення з урахуванням специфіки виконання завдань підрозділами пожежної охорони.

**Мета роботи** – обґрунтування доцільності та перспектив використання екзоскелетів у діяльності пожежно-рятувальних підрозділів для зниження фізичного навантаження, підвищення ефективності виконання важких робіт та зменшення ризику травматизму особового складу.

**Методики, матеріали і результати досліджень.** Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності діяльності пожежно-рятувальних підрозділів є використання екзоскелетів різних типів, які вже отримали практичне застосування у провідних країнах світу. Сучасні зразки, зокрема пасивні та активні екзоскелетні системи, що розробляються в США, країнах ЄС та Японії, забезпечують додаткову підтримку опорно-рухового апарату людини, знижують фізичне навантаження та підвищують працездатність оператора в умовах тривалих і інтенсивних навантажень.

Аналіз можливостей використання екзоскелетів у різних сферах, а також результати натурних випробувань, проведених у промислових і аварійно-рятувальних умовах, свідчать, що їх застосування дозволяє зменшити м'язове навантаження на 20–40%, а також знизити рівень фізичної втоми на 15–30% залежно від типу виконуваної роботи та конструкції пристрою [3, 4]. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню витривалості персоналу та зменшенню ризику помилок в умовах стресу.

Сучасні екзоскелетні системи, такі як Sarcos Guardian XO (США) та HAL exoskeleton (Японія), демонструють здатність зменшувати пікові навантаження на опорно-руховий апарат до 50% при виконанні підйому та утримання вантажів, а також підвищувати загальну продуктивність виконання силових операцій приблизно на 10–25% (рис. 1). У країнах Європейського Союзу впровадження пасивних екзоскелетів у логістиці та будівництві дозволяє знижувати рівень

професійного перевантаження працівників на 15–35%, що прямо корелює зі зменшенням ризику травматизму [4].

На основі узагальнення результатів досліджень можна визначити основні напрями використання екзоскелетів у пожежно-рятувальній діяльності:

- прокладання магістральних рукавних ліній великого діаметра;
- підйом і транспортування пожежно-технічного обладнання у багатоповерхових будівлях;
- евакуація постраждалих під час пожеж і надзвичайних ситуацій;
- розбір завалів після техногенних аварій та природних катастроф;
- робота зі стволами з високою витратою вогнегасних речовин;
- збирання та транспортування пожежного обладнання після ліквідації пожеж;

виконання робіт у складних умовах.

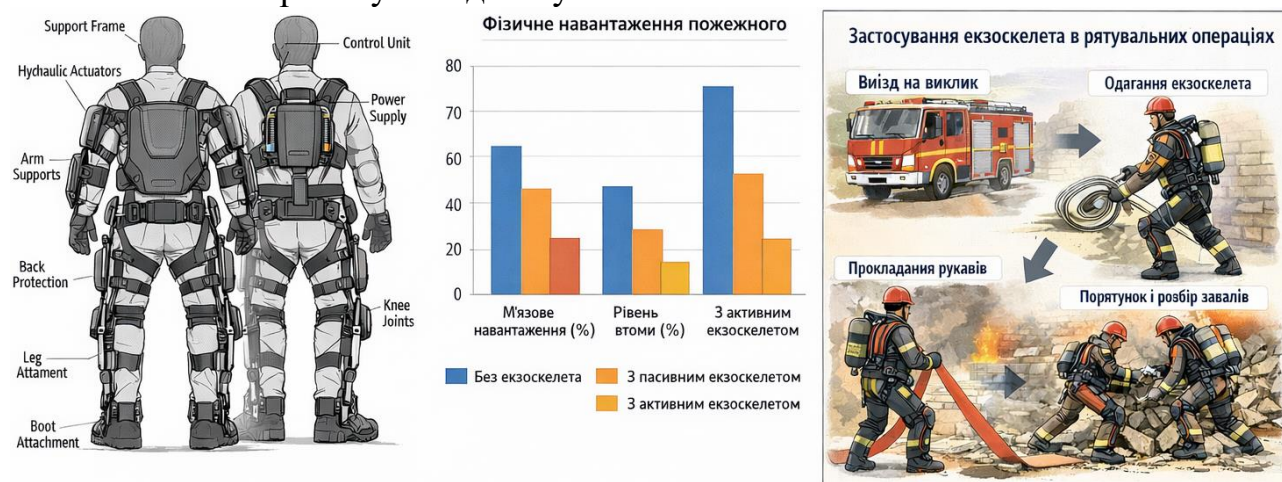


Рис. 1. Схема будови екзоскелета, порівняльний аналіз фізичного навантаження пожежного та концепція застосування екзоскелетів у пожежно-рятувальних операціях

Результати експериментальних досліджень і опитування фахівців свідчать про позитивне ставлення до використання екзоскелетів у практичній діяльності. Встановлено, що екзоскелет надягається поверх бойового одягу пожежного, а його індивідуальне налаштування займає в середньому 2–3 хвилини. Важливим аспектом є підвищення безпеки праці, оскільки екзоскелет забезпечує зменшення навантаження на поперековий відділ хребта до 40–60%, що суттєво знижує ризик травм опорно-рухового апарату, зокрема розтягнень, вивихів та ушкоджень хребта.

Перспективним напрямом удосконалення є інтеграція екзоскелетів із системами моніторингу стану рятувальника, що дозволяє підвищити оперативність управління та безпеку особового складу на 10–20% за рахунок раннього виявлення перевантаження та критичних станів.

Водночас використання екзоскелетів у пожежно-рятувальній діяльності має низку обмежень, серед яких слід відзначити додаткову масу конструкції, що може впливати на мобільність оператора, обмежену автономність активних систем через ємність джерел живлення, а також недостатню жаро- та вогнестійкість

окремих матеріалів при роботі в умовах високих температур. Ці фактори потребують подальшого вдосконалення конструкцій і адаптації екзоскелетів до специфічних умов надзвичайних ситуацій.

**Висновки.** Аналіз показує, що впровадження екзоскелетів у пожежно-рятувальну діяльність є перспективним напрямом розвитку цивільного захисту. Їх використання сприяє зниженню фізичного навантаження, підвищенню витривалості рятувальників, зменшенню травматизму та підвищенню ефективності робіт.

Екзоскелети є ефективними під час транспортування обладнання, розбору завалів, евакуації постраждалих і виконання тривалих фізично складних завдань. Водночас існує потреба у вдосконаленні їх технічних характеристик, зокрема, термостійкості, автономності та адаптації до умов надзвичайних ситуацій.

В умовах триваючої повномасштабної війни російської федерації проти України суттєво зростає навантаження на підрозділи ДСНС. Ракетні обстріли, атаки дронів і вибухи спричиняють численні надзвичайні ситуації, зокрема масштабні пожежі в житловому секторі, на об'єктах критичної інфраструктури та промисловості. Це підкреслює актуальність впровадження інноваційних засобів підтримки рятувальників, зокрема екзоскелетів, для підвищення їхньої безпеки та ефективності.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на адаптацію екзоскелетів до реальних умов їх використання та інтеграцію в системи забезпечення безпеки рятувальників в умовах сучасних загроз.

## Література

1. National Fire Protection Association. (n.d.). *Firefighter injuries in the United States: Research report*. Retrieved April 19, 2026, from <https://www.nfpa.org/education-and-research/research/nfpa-research/fire-statistical-reports/firefighter-injuries-in-the-united-states>
2. Garcia, J., Bazzocchi, M. C. F., Fite, K., Ocampo, J. D., & Martinez, M. (2024). Review and statistical analysis of U.S. structural firefighting injuries: Their causes and effects. *Fire*, 7(2), 46. <https://doi.org/10.3390/fire7020046>
3. Barr, D., Gregson, W., & Reilly, T. (2023). The thermal and metabolic demands of firefighting. *Fire*, 4(4), 20
4. Mateos, L. A., Torricelli, D., & Pons, J. L. (2017). Industrial exoskeletons for occupational use: Reducing physical workload and preventing injuries. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1706.05440>
5. Kim, S., Park, J., & Lee, K. (2023). Assessing the impact of a passive exoskeleton on firefighter performance and physiological response. *Applied Ergonomics*, 110, 103999. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.103999>
6. Хряп, П. Д., Жирков, В. Ю., & Шаломов, В. А. (2025). Перспективи використання екзоскелетів в будівельній галузі. In С. О. Вамболь (Ed.), *Безпека людини у сучасних умовах: Збірник доповідей 17-ї міжнародної науково-методичної конференції (4–5 грудня 2025 р.)* (pp. 204–205). Харків: НТУ «ХПІ».