

Б.М. Цимбал^{1,2}, П.В. Свіржевський¹

¹Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

²ТОВ «Технічний університет “Метінвест Політехніка”», Запоріжжя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ РОБОТІВ ДЛЯ ОСОБИСТОГО ДОГЛЯДУ

Було досліджено рівень безпеки, виконано оцінку ризиків робіт для особистого догляду та надано рекомендації щодо усунення та/або зменшення ризиків. Під час дослідження було встановлено, що роботи для особистого догляду не зважаючи на свою соціальну функцію під час експлуатації та контакті з людиною є небезпечними і призводять до травматизму.

Ключові слова: безпечна експлуатація, заходи з безпеки, роботи для особистого догляду, оцінка ризиків.

Постановка проблеми

В останні десятиліття використання роботів у різних галузях промисловості зросло. Самокеровані роботи з'явилися в житті людей, зокрема, в сферах, пов'язаних з життям людей похилого віку. Популяція людей похилого віку значно зростає в усьому світі. Тому там зростає попит на роботів з догляду за собою. Літні люди постійно наражаються на ризик впасти, захворіти, заплутатися чи загубитися. Їх не варто залишати на самоті. Тому не рекомендується надовго залишати людей похилого віку з роботою. [1].

Не зважаючи на широку потребу та попит, впровадження соціальних і сервісних роботів для догляду за людьми похилого віку має бути ретельно спланованим, включати комплексну попередню підготовку та враховувати етичні, практичні питання та питання безпеки. Важливо залучати майбутніх користувачів до налаштування робота [2] та безпечної експлуатації.

Тому дослідження рівня безпеки та оцінка ризиків робіт для особистого догляду є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Роботи для особистого догляду можливо класифікувати за трьома категоріями, а саме, мобільні роботи-слуги, роботи-перевізники та фізичні роботи-асистенти [3].

Більшість нещасних випадків мобільних роботів-слуг були зіткненнями, спричиненими помилками або несправностями датчиків, що іноді призводило до травм. Нещасні випадки, пов'язані з роботом-фізичним помічником, здебільшого

включали поворот руки або падіння. Аварії з роботом-перевізником переважно траплялися під час подорожі та включали помилки зупинки [4].

Існує метод та платформа, яка поєднує MBSE, MBSA та оцінку ризиків на ранніх етапах життєвого циклу розробки гуманоїдних роботів для особистого догляду, який включає в себе моделювати архітектуру RS для автоматичного виконання аналізу безпеки, збереження та повторно використання артефактів безпеки, представлення результатів аналізу безпеки в середовищі моделювання [5], але не враховує етап експлуатації даних роботів, навченості безпечної експлуатації людей похилого віку.

Методика для оцінки ризиків робіт для особистого догляду – мобільних службовців (PCMS) на основі стандарту безпеки ISO 13482 [6] використовує систему нечіткого виведення (FIS) та враховує серйозність, частоту, можливість уникнення та можливість уникнення небезпечного стану [7].

Безпека є одним з найважливіших питань, які повинні бути гарантовані для успішного прийняття, розгортання та використання соціальних роботів. На відміну від бар'єрної гарантії експлуатаційної безпеки, яка широко використовується в промисловій робототехніці, безпека роботів для особистого догляду має забезпечувати іскробезпеку, запобігання зіткнень, виявлення людини та враховувати передові методи керування [8].

Оцінка етичних ризиків розширює сферу ризику, охоплюючи етичні аспекти. Кількісна оцінка психологічних ризиків є особливо складною, враховуючи, що немає узгоджених заходів щодо небезпеки надмірної довіри. Оцінка ще більше ускладнюється ймовірністю того, що культурні

відмінності можуть призвести до меншого ризику психологічної шкоди для одних людей, ніж для інших. З цих причин групи розробників не можуть покладатися на власне судження, а натомість мають співпрацювати з потенційними користувачами, які представляють повний діапазон віку, статі та етнічної різноманітності, і шукати керівництва психологів та/або соціологів [9].

Люди повинні легко навчитися взаємодіяти з роботом та мати доступ до його внутрішнього стану, наприклад, щоб зрозуміти, куди рухається робот і, зрештою, як він може допомогти. Безпека користувачів під час взаємодії з роботом без будь-якого нагляду експериментатора, особливо якщо цільовими користувачами є діти, або захист даних, зібраних під час тривалих досліджень (збереження конфіденційності користувачів), також повинні бути враховані [10].

Використання карботів для догляду за фізичним і психічним здоров'ям людей похилого віку, дітей та інвалідів, а також як допоміжних інструментів і соціальних компаньйонів стикається з проблемами щодо ступеня здатності роботів-доглядальників піклуватися про людей, можливого обману морфологією та комунікаціями роботів, (надмірної) залежності від роботів або прихильності до них, а також ризиків використання роботів-доглядальників без інформованої згоди та потенційних порушень конфіденційності [11].

Роботи для транспортування, прибирання та доставки створюють загрозу для перехожих, особливо для вразливих груп населення, таких як діти та люди похилого віку, які за своєю суттю менші та крихітні. Ризик зіткнень зі швидкістю 3,1 м/с призводить до серйозних травм голови (14%), шиї (20%), грудної клітки (50%) у дітей, а також перелому гомілки (33%) у дорослих [12].

Ризик небезпеки розраховується як добуток двох факторів таким чином: ризик = «ймовірність» - «серйозність», де «ймовірність» – це ймовірність виникнення небезпеки та «серйозність» – це серйозність небезпеки, відповідно. Таким чином, окрім встановлення ліміту ризику, необхідно також встановити максимальний рівень серйозності, гарантуючи, що робот не зможе спричинити небажані ризики. Функціональна безпека повинна відповідати детальному та короткому опису небезпек, які вказують на максимально допустимий рівень ризику та серйозність [13].

Роботи-доглядальники (CR) мають фізичні та психологічні наслідки під час їх використання. Крім того, ці пристрої містять дані, які повинні бути захищені. Відповідати етичним та нормативно-правовим вимогам безпеки та кібербезпеки [14].

Невирішеними проблемами для соціальних

роботів є: безпека пацієнтів, оскільки роботи обов'язково досить потужні та жорсткі; ефективне управління, оскільки управління тілом гуманіда вимагає узгодження десятків ступенів свободи; і відповідні рівні автономії, оскільки висока автономія може полегшити контроль, але може знизити безпеку пацієнта [15].

Існують також аспекти, пов'язані з юридичними питаннями та питаннями безпеки, пов'язаними з процесом, наприклад, що станеться, якщо виникнуть помилки чи пошкодження, спричинені роботом для догляду, а також проблеми з безпекою та цілісністю даних [16].

Використання контролю руху, планування руху, методів прогнозування та психологічних факторів є важливими засобами та основними технологіями для досягнення безпечних стратегій взаємодії людини та робота для особистого догляду [17].

Мета та завдання статті

Метою статті є дослідження рівня безпеки та управління ризиків роботів для особистого догляду.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити небезпеки використання роботів для особистого догляду;
- встановити найбільш поширені джерела небезпеки роботів;
- розробити методику оцінки ризиків для особистого догляду;
- визначити походження, потенційних наслідків небезпек для роботів особистого догляду;
- провести оцінку ризиків для особистого догляду;
- розробити заходи для забезпечення безпеки роботів та усунення або зменшення ризиків роботів для особистого догляду.

Предметом дослідження є засоби та заходи безпеки під час експлуатації роботів для особистого догляду.

Об'єктом дослідження є стан безпеки роботів для особистого догляду.

Гіпотезою дослідження є те, що рівень безпеки роботів для особистого догляду залежить від рівня навченості осіб які з ними контактують, експлуатаційних та конструктивних характеристик, програмного забезпечення.

Дослідження проведено на основі комплексу необхідних методів, насамперед методу системного аналізу, структурно-функціонального методу, методу порівняння, аналізу та синтезу та методу експертної оцінки ризиків.

Дослідження проводили із застосуванням роботів для особистого догляду: Lio мобільний робот-помічник із функціональною рукою-захватом [18], iARM персональний робот-помічник, розумна

рука робота, яка встановлена на інвалідному візку [19] та носимий робот KAIST, який ходить і надягається на людей з обмеженими можливостями [20].

Для аналізу та обробки експериментальних даних було застосовано персональний комп'ютер. Для обробки та аналізу результатів даних випробування, розробки чек-листа та анкети оцінки ризиків для особистого догляду використовувалась програма, табличний процесор Microsoft Office Excel.

Виклад основного матеріалу

Для розроблення методики оцінки ризиків, які

виникають при взаємодії людини робота для особистого догляду було враховано вимоги стандарту ДСТУ EN ISO 13482:2019 Роботи та роботизовані пристрої. Вимоги щодо безпечності роботів особистого догляду (EN ISO 13482:2014, IDT; ISO 13482:2014, IDT) [5].

Ризик, який пов'язаний з певною небезпечною ситуацією, залежить від тяжкості шкоди та можливості виникнення цієї шкоди.

Для спрощення проведення визначення рівня ризику роботів для особистого догляду необхідно користуватися розробленою анкетой (табл. 1), чек-листом (табл. 2) та матрицею (табл. 3).

Таблиця 1

Анкета визначення типу або групи небезпек роботів для особистого догляду, походження небезпек та їх потенційні наслідки

№ з/п	Джерело небезпек	Походження	Може призвести до небезпек	Немає небезпек чи шкоди	Немає даних	Потенційні наслідки
1	Зарядка акумулятора	Перевантаження батареї				Пожежа, виділення небезпечних парів або речовин
2		Зарядка глибоко розряджених акумуляторів				
3		Контакт з клемми акумулятора під напругою				Ураження електричним струмом
4		Коротке замикання акумулятора				Пожежа, виділення небезпечних парів або речовин
5	Зберігання та постачання енергії	Контакт з джерелами високої електричної енергії				Ураження електричним струмом, опіки
6		Електричні компоненти/частини можуть опинитися під напругою у разі несправності				Ураження електричним струмом
7		Контакт з джерелами високої механічної енергії				Дроблення, різання, защемлення, опіки
8		Контакт з джерелами високої пневматичної енергії				Дроблення, різання, защемлення, впорскування
9		Контакт з джерелами високої гідравлічної енергії				
10		Контакт з джерелами високої хімічної енергії				Опіки, подразнення
11		Контакт з високотемпературними/високотепловими джерелами енергії				Опіки
12		Неконтрольоване виділення накопиченої енергії (швидкий розряд, вибух)				Пожежа, опіки, розчавлення, порізи
13		Збій живлення				Розчавлення, захоплення, падіння вантажів
14		Независне вимкнення				
15		Перевантаження потужності				Пожежа
16		Електростатичний розряд				Ураження електричним струмом

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
17	Запуск робота	Ненавмисний/неочікуваний запуск				Інші небезпеки
18		Небезпечні дії під час запуску або повторного запуску				
19	Форма робота	Гострі краї				Порізи, колоті рани, забій
20		Отвори або зазори між рухомими частинами				Розчавлення, захоплення, защемлення, порізи, розрізання, стирання
21		Небезпечне від'єднання/падіння частин				Дроблення, забій
22	Шум	Шкідливі рівні акустичного шуму				Втрата слуху, стрес, дискомфорт, втрата рівноваги, втрата свідомості
23		Робот випромінює шкідливі ультразвукові випромінювання				
24	Недостатня обізнаність	Відсутність шуму/тиха робота				Зіткнення з людьми (що спричиняє травми від удару) або інші перешкоди, пов'язані з безпекою
25	Вібрація	Шкідливий рівень вібрації				Запалення сухожилів, біль у спині, дискомфорт, невроз, артрит, заколисування та інші ушкодження, пов'язані з вібрацією
26		Знижена читабельність дисплеїв через вібрацію				Шкідливі події, викликані неправильними діями користувача або втратою контролю користувачем
27	Речовини та рідини	Контакт із шкідливими речовинами/викидами рідини від робота для особистого догляду (наприклад, гідравлічна рідина)				Опіки, подразнення, сенсibilізація
28		Летючі розчинники, випари, що виділяються роботом для особистої гігієни				Сенсibilізація, подразнення, асфіксія, засліплення
29		Алергічна реакція на контакт з поверхнями робота				Подразнення, сенсibilізація
30	Умови навколишнього середовища	Високий рівень пилу				Пожежа, інші небезпеки
31		Пісок				Заклинювання рухомих частин небезпечні пози/конфігурації; погіршення ефективності гальмування, що спричиняє зіткнення
32		Вплив снігу, льоду на робота особистого догляду				Заклинювання рухомих частин, небезпека короткого замикання, неправильні дії через перешкоди датчика, інші небезпеки
33		Вплив води, вологи на робота особистого догляду				Коротке замикання, що спричиняє функціональні збої, пожежу, втрату живлення
34	Екстремальні температури	Вплив робота на солону атмосферу або бризки солоної води (наприклад, у морському чи прибережному середовищі)				Структурна несправність, інші небезпеки, спричинені функціональними збоями, спричиненими корозією, несправність батареї/джерела живлення, небезпека короткого замикання
35		Гарячі поверхні				Опіки, стрес, дискомфорт
36		Холодні поверхні				Опіки, обмороження, стрес, дискомфорт
37		Знижена читабельність дисплеїв				Шкідливі події, викликані неправильними діями користувача або втратою контролю користувачем

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
38	Неіонізуюче випромінювання	Робот випромінює шкідливе некогерентне оптичне випромінювання				Опіки, травми очей
39		Робот випромінює шкідливе когерентне оптичне (лазерне) випромінювання				Травми очей (сліпі плями, повна сліпота)
40	Іонізуюче випромінювання	Робот випромінює шкідливі електромагнітні випромінювання				Небезпечний вплив на медичні імплантати/пристрої, небезпечний вплив на зовнішнє обладнання, електронні системи, небезпечний вплив на системи управління інфраструктурою (наприклад, транспорт, розподіл електроенергії, системи освітлення, телекомунікації)
41		Ненавмисна робота функції, спричинена зовнішніми електромагнітними випромінюванням				Як визначено для кожної функції
42		Небезпечний рух робота для особистого догляду, спричинений зовнішніми електромагнітними випромінюванням (наприклад, втеча, ненавмисні рухи рук)				Розчавлення, захоплення, удар, зіткнення, різання, розрізання.
43	Стрес, поза та безпека використання	Небезпечний стан робота, спричинений зовнішніми електромагнітними випромінюванням				Розчавлення, захоплення, удар, поріз, розрізання, пожежа, опіки
44		Напружена поза				Розлад опорно-рухового апарату
45		Робочі умови, що викликають фізичний дискомфорт				Втома. М'язове розтягнення або запалення
46		Неправильні припущення щодо розміру тіла користувача				Стресове положення тіла, втома користувача, м'язова травма/розлад
47		Поганий дизайн інтерфейсу користувача та/або розташування індикаторів та блоків візуального відображення				Дискомфорт через неправильне розуміння користувача роботом особистого догляду
48						Повільна реакція користувача в небезпечних ситуаціях
49						Надмірна кількість помилкових спрацьовувань, що змушує користувачів ігнорувати/вимикати сигнали тривоги та призводить до нездатності реагувати на сигнали тривоги
50						Поганий зв'язок між елементами керування та дисплеєм, що спричиняє неправильні/неадекватні відповіді користувача
51	Небезпеки через рух робота	Погана видимість робота особистого догляду				Виникнення інших небезпек як наслідок людської помилки
52		Механічна нестабільність (перекидання, падіння, надмірний нахил)				Розчавлення, захоплення, падіння вантажів
53		Механічна нестійкість - перекидання під час переміщення вантажів				
54		Нестабільність – перекидання під час руху				Розчавлення, захоплення, різання/розрізання, падіння вантажів
55		Нестабільність – втеча під час руху				Зіткнення, падіння вантажів, шкода навколишньому середовищу

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
56		Нестійкість руху – перекидання через неправильне положення пасажирів				Розчавлення, захоплення, різання/розрізання, падіння вантажів
57		Нестабільність при носінні вантажів				Шкода навколишньому середовищу, виділення шкідливих речовин, горіння (для гарячих рідин), різання/розрізання (гострими предметами)
58		Нестабільність при зіткненні – перекидання або перекидання після зіткнення				Розчавлення, захоплення, різання/розрізання, падіння вантажів
59		Нестійкість при зіткненні -розбіг після зіткнення				Зіткнення, падіння вантажів, шкода навколишньому середовищу
60		Нестабільність під час прикріплення робота фізичного помічника обмеження				Розчавлення, защемлення, ударні травми
61		Перекидання під час посадки/висадки пасажирів				Пасажир падає і отримує травму, розчавлення, защемлення
62		Втеча під час посадки/висадки пасажирів				
63	Зіткнення з перешкодами	Зіткнення з об'єктами				Травма, нанесена тупим предметом, різання.
64		Зіткнення з домашніми тваринами.				Поранення (або загибель) тварин Паніка тварин з наступними травмами для людей або шкоди навколишньому середовищу.
65		Зіткнення з іншими роботами				Розчавлення, захоплення, падіння вантажів.
66		Зіткнення з крихкими предметами.				Шкода навколишньому середовищу, падіння вантажів, виділення шкідливих речовин, спалювання (для гарячих рідин), різання/розрізання (для гострих предметів, пов'язаних з безпекою)
67		Зіткнення зі стінами, постійними/непересувними перешкодами				
68	Фізичний контакт під час взаємодії людини з роботом	Нездатність виявити об'єкти безпеки в робочому просторі				Зіткнення з об'єктами.
69		Шкідливі фізичні реакції під час тактильної взаємодії				Розрізання/відрізання, роздавлювання, захоплення
70		Тактильна взаємодія з частинами робота, не призначеними для тактильної взаємодії				
71	Недостатня довговічність	Поломка частини робота через недостатню міцність				Інші небезпеки
72	Автономна дія	Шкідливі дії під час виконання завдань				Інші небезпеки

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
73	Помилки локалізації та навігації	Помилки локалізації спричиняють неочікуваний рух робота персонального догляду				Розчавлення, защемлення, ударні травми, падіння вантажу
74		Помилки локалізації, що призводять до входу в заборонену зону				Зіткнення, розчавлення, защемлення, ударні травми, падіння вантажу
75		Помилки локалізації, що викликають механічну нестабільність				Перекидання, розчавлення, защемлення, падіння вантажів
76	Інші небезпечні предмети	Погані/невідповідні інструкції та навчальні матеріали				Шкідливі події, викликані помилкою або неправильною дією користувача
77		Зменшені можливості користувача через носіння верхнього одягу, включаючи рукавички, головні убори, сонцезахисні окуляри, черевики				Зниження відчуттів, менш точне керування, що призводить до шкідливих подій, спричинених помилкою користувача або неправильною дією

Таблиця 2

Чек-лист для визначення величини ризику робота для особистого догляду

Критерій оцінювання	Величина критерію оцінювання							
Тяжкість шкоди, яка може призвести до конкретної небезпеки, <i>B</i>	незначна 1		серйозна 2		смертельна 3			
Часу перебування в небезпечній зоні (довго)	ні, 0		так, 1					
Частота доступу (часто)	ні, 0		так, 1					
Нараження людини на небезпеку, <i>V</i> (сумарне значення «так»)	0		1		2			
Надійність (ненадійний)	ні, 0		так, 1					
Порівняння ризиків (не відповідають стандартним вимогам, неправильно експлуатуються або використовуються не за призначенням)	ні, 0		так, 1					
Виникнення небезпечної події, <i>I</i> (сумарне значення «так»)	0		1		3			
Швидкість настання шкоди <i>T</i>	повільно 1		швидко 2		одразу 3			
Людина знає загальну інформацію про робота для особистого догляду, зокрема інформацію для користувача	так,0				ні, 1			
Виконував безпосереднє спостереження	так,0				ні, 1			
Знає застережні знаки та індикатори, зокрема на машині	так,0				ні, 1			
Обізнаність із ризиком, <i>O</i> (сумарне значення «ні»)	0		1		2		3	
Можливість людини обмежити шкоду чи уникнути її, наприклад рефлекс, жвавість або можливість втечі, <i>D</i>	так,0				ні, 1			
Можливість усунення чи обмеження шкоди, <i>U</i> = <i>T</i> + <i>O</i> + <i>D</i>	1	2	3	4	5	6	7	
Можливість виникнення цієї шкоди, <i>P</i> = <i>V</i> + <i>I</i> + <i>U</i>								
Рівень професійного ризику робіт для особистого догляду, <i>R</i> = <i>B</i> · <i>P</i>								

Рівні ризиків робіт для особистого догляду поділяються на:

- незначний (зелена зона) – 2-4;
- мінімальний (синя зона) – 5-8;
- помірний (жовта зона) – 9-16;
- суттєвий (помаранчева зона) – 18-24;
- високий (червона зона) – 27-36.

Високий рівень ризику робіт для особистого догляду свідчить про недостатню ефективність чинних заходів захисту та нагальну потребу в розробці й впровадженні додаткових рішень для його зниження або мінімізації. Якщо ж рівень ризику є низьким, це свідчить про результативність наявних заходів. У такій ситуації варто продовжувати їх застосування, паралельно

здійснюючи моніторинг та регулярну переоцінку ризиків у разі зміни умов.

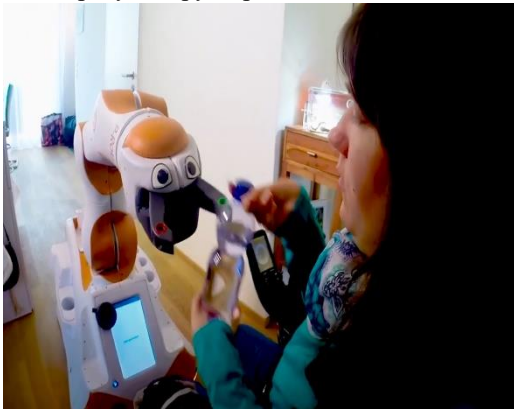
Таблиця 3

Матриця визначення рівня ризику роботів для особистого догляду

Можливість виникнення цієї шкоди, <i>P</i>	Тяжкість шкоди, яка може призвести до конкретної небезпеки, <i>B</i>		
	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9
4	4	8	12
5	5	10	15
6	6	12	18
7	7	14	21
8	8	16	24
9	9	18	27
10	10	20	30
11	11	22	33
12	12	24	36

Для апробації розробленої методики оцінки ризиків роботів для особистого догляду було обрано мобільний робот-помічник із функціональною рукою-захватом Lio [18], персональний робот-помічник, розумна рука робота, яка встановлена на

інвалідному візку iARM [19] та носимий робот KAIST, який ходить і надягається на людей з обмеженими можливостями [20]. (рис. 1, рис. 2 та рис. 3). Результати оцінки деяких ризиків для особистого догляду наведені в табл. 4.



а)



б)

Рис. 1. Взаємодія людини та мобільного робота-помічника Lio із функціональною рукою-захватом:

а) – під час подачі певного предмету; б) – під час сну



а)



б)

Рис. 2. Взаємодія людини та персонального робота-помічника, розумною рукою робота, яка встановлена на інвалідному візку iARM: а) – захоплення та перенесення пляшки з напоем; б) – допомога робота під час пиття напою



а)



б)

Рис. 3. Пересування разом з роботом KAIST: а) – під час ходьби; б) – під час пересування на інвалідному візку

Таблиця 4

Результати оцінки деяких ризиків для особистого догляду

Походження	Рівень ризику	Рекомендовані заходи
Мобільний робот-помічник із функціональною рукою-захватом Lio		
Зарядка глибоко розряджених акумуляторів	18	1. Не слід допускати повного розряду акумулятора, щоб уникнути проблем із заряджанням глибоко розряджених батарей. 2. Якщо акумулятор не заряджається або робить це дуже повільно, варто перевірити інструкцію – можливо, зарядна система має захист від зарядки глибоко розряджених батарей.
Контакт з джерелами високої механічної енергії	24	1. Не слід торкатися рухомих частин робота під час його роботи. 2. Варто уникати потрапляння рук або одягу до зон з високою механічною енергією.
Збій живлення	20	1. Рекомендовано використовувати принцип «знеструмлення для подачі» у конструкції гальмівних механізмів рухомих частин. 2. Необхідно впровадити джерело безперебійного живлення для критичних систем.
Ненавмисне вимкнення	14	1. Потрібно забезпечити, щоб при раптовому вимкненні робот не створював загрози для користувача або оточуючих. 2. Необхідно використовувати внутрішнє сховище енергії для безпечного завершення роботи після втрати живлення.
Персональний робот-помічник, розумна рука робота, яка встановлена на інвалідному візку iARM		
Перевантаження потужності	27	1. Необхідно застосовувати системи теплового захисту для запобігання перегріванню електричних компонентів.
Електростатичний розряд	22	1. Необхідно уникати ситуацій, за яких джерелом електростатичного розряду можуть стати люди або домашні тварини.. 2. Не слід використовувати робота на синтетичних килимах або інших поверхнях, що сприяють накопиченню статичного заряду, оскільки це підвищує ризик електростатичних розрядів при контакті з пристроєм. 3. Перед дотиком до робота рекомендується торкнутися заземленого металевого предмета, щоб зняти накопичений статичний заряд і запобігти раптовому електростатичному розряду. 4. Слід уникати контакту з роботом у приміщеннях із сухим повітрям, оскільки це сприяє накопиченню статичного заряду. Для зменшення ризику електростатичних розрядів доцільно використовувати зволожувачі повітря або заземлені покриття для підлоги.

Продовження табл. 4

1	2	3
Ненавмисний/неочікуваний запуск	18	1. Перед початком роботи необхідно перевірити, чи робот знаходиться у безпечному стані. 2. Не можна залишати робота без нагляду під час запуску. 3. Використовуються кнопки аварійного вимкнення у разі несподіваного запуску.
Тактильна взаємодія з частинами робота, не призначеними для тактильної взаємодії	16	1. Варто уникати контакту з частинами робота, що не призначені для взаємодії, щоб не пошкодити його або не отримати травму. 2. Рекомендується ознайомитися з інструкціями, щоб визначити, які частини робота безпечні для тактильного контакту.
Носимий робот KAIST, який ходить та надягається на людей з обмеженими можливостями		
Коротке замикання акумулятора	30	1. Варто переконатися, що акумулятор правильно встановлений у зарядну станцію, щоб уникнути короткого замикання. 2. Не слід допускати контакту батареї з металевими предметами, щоб уникнути короткого замикання. 3. Не варто використовувати зарядні кабелі зі зламаною ізоляцією – це може спричинити замикання.
Небезпечні дії під час запуску або повторного запуску	22	1. Перед запуском необхідно переконатися, що всі люди знаходяться на безпечній відстані. 2. Забороняється торкатися рухомих частин робота під час його запуску. 3. Використовуються сигнальні системи для попередження про початок роботи.
Вплив води, вологи на робота особистого догляду	24	Слід враховувати, якщо робот призначений для роботи на відкритому повітрі або поблизу тіл, джерел води чи бризок

Було розроблено заходи для зменшення чи усунення ризиків для особистого догляду, що є важливим кроком для безпеки людей з особливими потребами. Використання розробленої методики оцінки ризиків для роботів особистого догляду дає можливість визначити рівень ризику та впровадити заходи для зниження їх рівня.

За результатами оцінки ризиків для особистого догляду, розробленою методикою, деяких, найбільш значимих ризиків взаємодії людини та мобільного робота-помічника Lio із функціональною рукою-захватом (рис. 1), було встановлено, що контакт з джерелами високої механічної енергії може призвести до рівня ризику 24, який є суттєвим, при цьому тяжкість шкоди, яка може призвести до конкретної небезпеки дорівнює 3, а можливість виникнення цієї шкоди 8. Тому з метою зменшення або усунення ризику та попередження виникнення можливих наслідків було запропоновано запровадити запобіжні та захисні заходи, які попереджають контакт з рухомими частинами робота під час його роботи; надають можливість уникнути потрапляння рук або одягу до зон з високою механічною енергією. Аналогічно при небезпеці ненавмисного вимкнення, рівень ризику складає 16 має помірний рівень, тому потрібно забезпечити, щоб при раптовому вимкненні робот не створював загрози для користувача або оточуючих та використовувати внутрішнє сховище енергії для безпечного завершення роботи після втрати

живлення.

Під час взаємодії людини з особливими потребами та персонального робота-помічника, розумною рукою робота, яка встановлена на інвалідному візку iARM (рис. 2) виникають небезпеки, які пов'язані перевантаження потужності, електростатичний розряд, ненавмисним/неочікуваним запуском, тактильною взаємодією з частинами робота, не призначеними для тактильної взаємодії. Даний робот повинен оперативно реагувати на зміну команди та відмови від надання допомоги, м'яко контактувати з людиною, мати високу точність та обережність в своїх рухах, щоб не спричинити ударів та травм людині.

Найбільш небезпечним робочим місцем є носимий робот KAIST, який ходить та надягається на людей з обмеженими можливостями (рис. 3), бо він зіштовхується з небезпеками, які пов'язані з коротким замиканням акумулятора, небезпечними діями під час запуску або повторного запуску, небезпечним впливом води, вологи та ін. Ризик під час короткого замикання акумулятора складає 30 (суттєвий), який може призвести пожежі, виділенню небезпечних парів або речовин, необхідно переконатися, що акумулятор правильно встановлений у зарядну станцію, щоб уникнути короткого замикання; не слід допускати контакту батареї з металевими предметами, щоб уникнути короткого замикання та не варто використовувати

зарядні кабелі зі зламаною ізоляцією – це може спричинити замикання.

Отримані результати пояснюються тим, що під час взаємодії людини та мобільного робота-помічника Lio із функціональною рукою-захватом, пересування разом з роботом KAIST та взаємодії людини і персонального робота-помічника, розумною рукою робота, яка встановлена на інвалідному візку iARM характерні специфічні шкідливі та небезпечні фактори, що обумовлене конструктивними та технологічними особливостями роботів для особистого догляду, які призводять до виникнення небезпечних ситуацій та ризиків, але запровадження заходів безпеки надає можливість зменшити їх рівні або усунути взагалі.

Висновки

1. Результати дослідження підтверджують, що роботи для особистого догляду, попри їхню соціальну та допоміжну роль, несуть значні ризики для користувачів. Виявлено, що небезпеки можуть мати різне походження: механічні, електричні, програмні, а також етичні та психологічні. Найбільш поширеними є ризики зіткнення, ураження струмом, перегрівання акумуляторів, а також можливі порушення конфіденційності даних.

2. Для оцінки ризиків було розроблено методіку, яка враховує ймовірність виникнення небезпеки, її серйозність та можливість уникнення. Методика включає використання чек-листів, анкет і матриці ризиків, що дозволяє систематично оцінювати небезпеки та розробляти заходи для їх мінімізації. Дослідження показало, що найбільш високий рівень ризику характерний для роботів, які виконують фізичні маніпуляції, таких як персональні помічники або носимі екзоскелети.

3. Особливу увагу приділено походженню небезпек та їхнім потенційним наслідкам. Більшість ризиків пов'язані з конструктивними особливостями роботів, які можуть мати недоліки у сенсорних системах, алгоритмах руху або в самих механізмах взаємодії з людиною. Виявлено, що людський фактор також суттєво впливає на рівень безпеки – неправильне використання або недостатня обізнаність користувачів підвищує ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

4. Оцінка ризиків, проведена на прикладі конкретних роботизованих систем, показала, що деякі з них потребують доопрацювання для підвищення безпеки. Зокрема, високі ризики виявлені у випадках, коли роботи працюють з механічними навантаженнями або взаємодіють із користувачами у неконтрольованих умовах.

5. Запропоновано комплекс заходів для зниження рівня ризиків. Вони включають покращення алгоритмів управління рухами,

вдосконалення сенсорних систем, інтеграцію додаткових елементів безпеки, а також навчання користувачів щодо правильної експлуатації. Впровадження цих заходів сприятиме безпечному використанню роботів у сфері особистого догляду та зменшить ризики травматизму або інших негативних наслідків.

Література

1. Hosseini S. H., Goher K. M. Personal care robots for older adults: an overview. *Asian social science*. 2016. Vol. 13, no. 1. P. 11. URL: <https://doi.org/10.5539/ass.v13n1p11> (date of access: 19.02.2025).
2. Robots for Elderly Care: Review, Multi-Criteria Optimization Model and Qualitative Case Study / B. Sawik et al. *Healthcare*. 2023. Vol. 11, no. 9. P. 1286. URL: <https://doi.org/10.3390/healthcare11091286> (date of access: 20.02.2025).
3. Virk G. S. Personal care robot safety. *Proceedings of the 13th international conference on climbing and walking robots and the support technologies for mobile machines*, Nagoya Institute of Technology, Japan. 2010. URL: https://doi.org/10.1142/9789814329927_0162 (date of access: 20.02.2025).
4. A study on the risk investigation and safety of personal care robots / G.-E. Yu et al. 2017 17th international conference on control, automation and systems (ICCAS), Jeju, 18–21 October 2017. 2017. URL: <https://doi.org/10.23919/iccas.2017.8204353> (date of access: 20.02.2025).
5. Model-Based Engineering, Safety Analysis and Risk Assessment for Personal Care Robots / N. Yakymets et al. 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Madrid, 1–5 October 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/iros.2018.8594115> (date of access: 20.02.2025).
6. ДСТУ EN ISO 13482:2019. Роботи та роботизовані пристрої. Вимоги щодо безпечності роботів особистого догляду. На заміну ДСТУ EN ISO 13482:2014 ; чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. 2019. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88307 (дата звернення: 20.02.2025).
7. Mitka E. Fuzzy inference system towards risk assessment of Personal care robots. *Journal of computations & modelling*. 2016. Vol. 6, no. 4. P. 53–56. URL: http://www.scienpress.com/Upload/JCM/Vol%206_4_3.pdf (date of access: 20.02.2025).
8. Tadele T. S., de Vries T., Stramigioli S. The Safety of Domestic Robotics: A Survey of Various Safety-Related Publications. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 2014. Vol. 21, no. 3. P. 134–142. URL: <https://doi.org/10.1109/mra.2014.2310151> (date of access: 20.02.2025).
9. Winfield A., Winkle K. RoboTed: a case study in ethical risk assessment. 5th international conference on robot ethics and standards : ICRES 2020, Taipei, 28 September 2020 – 29 September 2020. Taipei, 2020. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.15864> (date of access: 20.02.2025).
10. Leite I., Martinho C., Paiva A. Social Robots for Long-Term Interaction: A Survey. *International Journal of Social Robotics*. 2013. Vol. 5, no. 2. P. 291–308. URL: <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0178-y> (date of access: 20.02.2025).
11. Yew G. C. K. Trust in and Ethical Design of Carebots: The Case for Ethics of Care. *International Journal of Social*

Robotics. 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00653-w> (date of access: 20.02.2025).

12. Paez-Granados D., Billard A. Crash test-based assessment of injury risks for adults and children when colliding with personal mobility devices and service robots. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09349-9> (date of access: 20.02.2025).

13. Safety certification requirements for domestic robots / E. Mitka et al. *Safety Science*. 2012. Vol. 50, no. 9. P. 1888–1897. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.05.009> (date of access: 20.02.2025).

14. Giansanti D., Gulino R. A. The Cybersecurity and the Care Robots: A Viewpoint on the Open Problems and the Perspectives. *Healthcare*. 2021. Vol. 9, no. 12. P. 1653. URL: <https://doi.org/10.3390/healthcare9121653> (date of access: 20.02.2025).

15. Dahl T., Boulos M. Robots in Health and Social Care: A Complementary Technology to Home Care and Telehealthcare?. *Robotics*. 2013. Vol. 3, no. 1. P. 1–21. URL: <https://doi.org/10.3390/robotics3010001> (date of access: 20.02.2025).

16. Care Robot Orientation: What, Who and How? Potential Users' Perceptions / R.-M. Johansson-Pajala et al. *International Journal of Social Robotics*. 2020. Vol. 12, no. 5. P. 1103–1117. URL: <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00619-y> (date of access: 20.02.2025).

17. Research status of elderly-care robots and safe human-robot interaction methods / D. Zhao et al. *Frontiers in Neuroscience*. 2023. Vol. 17. URL: <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1291682> (date of access: 20.02.2025).

18. [[:en]Lio[:de]Lio[:fr]Lio[:zh] 服务型机器人[:]] - F&P Robotics AG. F&P Robotics AG. URL: <https://www.fpr-robotics.com/en/lio/> (date of access: 20.02.2025).

19. Assistive Innovations - iARM. Assistive Innovations - Assistive Innovations | Developer of assistive products and devices. URL: <https://www.assistive-innovations.com/en/robotic-arms/iarm> (date of access: 20.02.2025).

20. News at KAIST. KAIST. URL: https://news.kaist.ac.kr/newsen/html/news/?mode=V&mn_g_no=40790 (date of access: 20.02.2025)..

References

1. Hosseini, S. H., & Goher, K. M. (2016). Personal care robots for older adults: An overview. *Asian Social Science*, 13(1), 11. <https://doi.org/10.5539/ass.v13n1p11>

2. Sawik, B., Tobis, S., Baum, E., Suwalska, A., Kropińska, S., Stachnik, K., Pérez-Bernabeu, E., Cildoz, M., Agustin, A., & Wiczorowska-Tobis, K. (2023). Robots for elderly care: Review, multi-criteria optimization model and qualitative case study. *Healthcare*, 11(9), 1286. <https://doi.org/10.3390/healthcare11091286>

3. Virk, G. S. (2010). Personal care robot safety. *Y Proceedings of the 13th international conference on climbing and walking robots and the support technologies for mobile machines*. WORLD SCIENTIFIC. https://doi.org/10.1142/9789814329927_0162

4. Yu, G.-E., Hong, S.-T., Sung, K.-y., & Seo, J.-h. (2017). A study on the risk investigation and safety of personal care robots. In *2017 17th international conference on control, automation and systems (ICCAS)*. IEEE. <https://doi.org/10.23919/iccas.2017.8204353>

5. Yakymets, N., Sango, M., Dhoub, S., & Gelin, R. (2018). Model-Based engineering, safety analysis and risk assessment

for personal care robots. *Y 2018 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/iros.2018.8594115>

6. Roboty ta robotyzovani prystroi. Vymohy shchodo bezpechnosti robotiv osobystoho dohliadu (EN ISO 13482:2014, IDT; ISO 13482:2014, IDT) (DSTU EN ISO 13482:2019). (n.d.). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88307

7. Mitka, E. (2016). Fuzzy inference system towards risk assessment of Personal care robots. *Journal of Computations & Modelling*, 6(4), 53–56. http://www.scienpress.com/Upload/JCM/Vol%206_4_3.pdf

8. Tadele, T. S., de Vries, T., & Stramigioli, S. (2014). The safety of domestic robotics: A survey of various safety-related publications. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 21(3), 134–142. <https://doi.org/10.1109/mra.2014.2310151>

9. Winfield, A.F., & Winkle, K. (2020). RoboTed: a case study in Ethical Risk Assessment. *ArXiv, abs/2007.15864*.

10. Leite, I., Martinho, C., & Paiva, A. (2013). Social robots for long-term interaction: A survey. *International Journal of Social Robotics*, 5(2), 291–308. <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0178-y>

11. Yew, G. C. K. (2020). Trust in and ethical design of carebots: The case for ethics of care. *International Journal of Social Robotics*. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00653-w>

12. Paez-Granados, D., & Billard, A. (2022). Crash test-based assessment of injury risks for adults and children when colliding with personal mobility devices and service robots. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09349-9>

13. Mitka, E., Gasteratos, A., Kyriakoulis, N., & Mouroutsos, S. G. (2012). Safety certification requirements for domestic robots. *Safety Science*, 50(9), 1888–1897. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.05.009>

14. Giansanti, D., & Gulino, R. A. (2021). The cybersecurity and the care robots: A viewpoint on the open problems and the perspectives. *Healthcare*, 9(12), 1653. <https://doi.org/10.3390/healthcare9121653>

15. Dahl, T., & Boulos, M. (2013). Robots in health and social care: A complementary technology to home care and telehealthcare? *Robotics*, 3(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/robotics3010001>

16. Johansson-Pajala, R.-M., Thommes, K., Hoppe, J. A., Tuisku, O., Hennala, L., Pekkarinen, S., Melkas, H., & Gustafsson, C. (2020). Care robot orientation: What, who and how? Potential users' perceptions. *International Journal of Social Robotics*, 12(5), 1103–1117. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00619-y>

17. Zhao, D., Sun, X., Shan, B., Yang, Z., Yang, J., Liu, H., Jiang, Y., & Hiroshi, Y. (2023). Research status of elderly-care robots and safe human-robot interaction methods. *Frontiers in Neuroscience*, 17. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1291682>

18. [[:En]Lio[:De]Lio[:Fr]Lio[:Zh] 服务型机器人[:]] - f&p robotics AG. (b. d.). F&P Robotics AG. <https://www.fpr-robotics.com/en/lio/>

19. Assistive Innovations - iARM. (b. d.). Assistive Innovations - Assistive Innovations | Developer of assistive products and devices. <https://www.assistive-innovations.com/en/robotic-arms/iarm>

20. News at KAIST. (b. d.). KAIST. https://news.kaist.ac.kr/newsen/html/news/?mode=V&mng_no=40790

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.В. Погребняк,

Університет митної справи та фінансів, Україна.

Автор: ЦИМБАЛ Богдан Михайлович
доктор наук з державно управління, доцент
Національний університет цивільного захисту України
ТОВ «Технічний університет “Метінвест Політехніка”»
E-mail – tsembalbogdan@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2317-3428>

Автор: СВІРЖЕВСЬКИЙ Петро Вікторович
Здобувач вищої освіти навчально-наукового
інституту управління та безпеки населення
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – svirzhevskiy.petro_2021b@nuczu.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2463-5841>

SAFETY LEVEL RESEARCH AND RISK ASSESSMENT OF PERSONAL CARE WORKS

B. Tsymbal^{1,2}, P. Svirzhevskiy¹

¹National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

²LLC «Technical University “Metinvest Polytechnic”», Zaporizhzhia, Ukraine

This study investigates the safety levels and risk assessment of personal care robots, focusing on their interaction with users and potential hazards. The increasing use of autonomous robots in personal care, particularly for elderly individuals, presents significant safety concerns. Although these robots are designed to assist users in daily activities, they pose risks such as mechanical injuries, electrical malfunctions, and privacy violations. Additionally, ethical concerns regarding user dependency and psychological effects are becoming increasingly relevant.

The research categorizes personal care robots into three groups: mobile servant robots, transportation robots, and physical assistant robots. A comprehensive analysis of accidents involving these robots has identified the most common hazards, including sensor malfunctions, unexpected movements, and collisions. Additionally, the study evaluates existing risk assessment methodologies, such as Model-Based Safety Engineering (MBSE), Model-Based Safety Analysis (MBSA), and fuzzy inference systems based on ISO 13482 safety standards.

A systematic risk assessment method was developed, incorporating checklists, surveys, and a risk matrix to quantify hazard levels. The evaluation of three specific robots—Lio (a mobile assistant with a robotic arm), iARM (a robotic arm mounted on a wheelchair), and KAIST (a wearable exoskeleton robot)—demonstrated varying levels of risk, with significant dangers associated with mechanical force, power failures, and unintentional shutdowns. Special attention was given to risks associated with prolonged human-robot interactions, including potential psychological stress and ethical dilemmas regarding autonomy and decision-making in caregiving environments.

Findings indicate that while some risks can be mitigated through design improvements, others require enhanced user awareness and regulatory measures. Key recommendations include improving sensor reliability, implementing emergency stop mechanisms, and enhancing user training programs. Additionally, manufacturers should incorporate advanced human-detection algorithms and collision avoidance technologies to minimize physical harm. Furthermore, ethical considerations, including the psychological impact of robot interactions and data security, are discussed in-depth, highlighting the need for strict guidelines in robot deployment.

In conclusion, this study underscores the necessity of integrating robust safety measures into personal care robotics to prevent accidents and ensure user well-being. Future research should focus on refining risk assessment models, improving human-robot interaction protocols, and advancing safety regulations for personal care robots. The continuous evaluation and adaptation of safety protocols will be crucial in addressing emerging risks and ensuring the widespread acceptance of these robots in healthcare and personal assistance sectors.

Keywords: safe operation, safety measures, personal care work, risk assessment.