

Б.М. Цимбал

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

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

РОБОТОТЕХНІКА ТА ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ: ЗАХОДИ З БЕЗПЕКИ ТА ДЖЕРЕЛА ЗАГРОЗ

Розглянуто питання застосування робототехніки та штучного інтелекту в побутових умовах та на роботі. Було встановлено, що конструкційні та експлуатаційні характеристики промислових та побутових роботів можуть створювати загрозу життю і здоров'ю людини та бути заходами забезпечення безпеки. Крім того, сучасні колаборативні роботи мають однаковий робочий простір з людиною.

Ключові слова: культура безпеки, заходи з безпеки, промислові роботи, оцінка професійних ризиків.

Постановка проблеми

Сучасна людина настільки розвинулася, що вже не може уявити свого життя без результатів науково-технічного прогресу, які створюють штучне середовище для її існування. Стимулом для цього є відмова самої людини долати труднощі, небажання здійснювати вольове зусилля. Механізація, електрифікація, автоматизація [1] та роботизація, з одного боку, можуть сприяти заходам із забезпечення безпеки праці, та, з іншого боку, вони є джерелами загроз. Роботизація та автоматизація праці в різних галузях економіки, а саме: в автомобільній промисловості, у сфері інформаційних технологій, охорони здоров'я, в сільському господарстві, логістиці і постачанні, в освіті та в сфері громадського обслуговування [2] – створюють проблеми з промислової, техногенної безпеки, кібербезпеки, етичні небезпеки в медицині, інформаційні, продовольчі, дорожньо-транспортні, освітньо-наукові, екологічні, соціальні, харчові та побутові небезпеки і загрози.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Роботи можуть співіснувати не тільки з людиною на роботі, а ще й вдома. Позбавляючи людину від рутинних та обридливих справ, роботи також несуть приховану загрозу: вони збирають та аналізують про людей інформацію, можуть стати інструментом у руках зловмисників, негативно вплинути на психіку дитини під час її виховання роботом, зробити її анти-соціальною, змусити покинути своїх батьків в дорослому віці, можуть викликати емоційну прихильність, обманувати, переплутати господарів будинку зі зловмисниками, отруїти газом або не впустити їх у будинок [3]. Роботи зі штучним інтелектом схильні приймати сексистські та расистські рішення [4].

Люди втрачають робочі місця, бо їх замінюють роботи, та змушені підвищувати продуктивність

праці і розвивати компетентності для працевлаштування на нових професіях, пов'язаних із сучасними технологіями [5, 6]. Дослідження вчених США та країн ЄС показали, що кожне друге робоче місце замінюється роботом, але роботи не можуть повністю замінити людей, які мають певну професію [7]. У зв'язку з цим виникають психологічні небезпеки, які проявляються у формі робофобії – дискомфорту, тривози, відчутті страху, небезпеки та неприйнятті робототехніки [8]. Крім цього, збільшується кількість смертей та проблем, пов'язаних із психічним здоров'ям, вживанням наркотиків чи алкоголю [9].

Очевидно, що небезпеки та загрози збільшуються, коли людина знаходиться в прямому контакті з роботами, коли робототехніка працює разом з людьми або симбіотично, коли працівники обладнані робототехнічними пристроями, екзоскелетами та іншими протезами, які підвищують їх продуктивність та збільшують можливості [10].

Мета та завдання статті

Метою статті є дослідження впливу експлуатаційних та конструктивних характеристик промислових та побутових роботів на рівень безпеки людини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити небезпеки використання роботів та класифікувати їх за основними типами;
- встановити найбільш поширені джерела небезпеки роботів;
- визначити причини нещасних випадків, які трапилися при контакті з робототехнікою;
- проаналізувати методики для оцінки професійних ризиків, визначити робототехнічне обладнання для проведення подальших досліджень;
- дослідити експлуатаційні та конструктивні характеристики роботів, направлені на забезпечення безпеки, та розробити заходи для забезпечення

безпеки промислових роботів.

Предметом дослідження є застосування робототехніки та штучного інтелекту.

Об'єктом дослідження є експлуатаційні та конструктивні характеристики роботів, які впливають на безпеку та гігієну праці.

Гіпотезою дослідження є те, що управління експлуатаційними та конструктивними характеристиками роботів дозволяє забезпечити високий рівень безпеки та гігієни праці.

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

Виклад основного матеріалу

На етапі проєктування інженери не закладають в більшість роботів розуміння їх оточення, тому роботи можуть бути небезпечними для людей. Залежно від природи походження небезпеки робототехніки можливо розділити на типи: механічні, що можуть виникати при ненавмисній чи несподіваній дії, а також під час зміни інструменту; контакти з небезпечними джерелами енергії, які можуть призвести до ураження електричним струмом при контакті зі з'єднаннями, струмоведучими частинами чи зі спалахом електричної дуги; термічні, які виникають при контакті з гарячими чи холодними поверхнями; шум, радіація, хімічні речовини, інфекції та інші небезпеки [11, 12].

Причиною травматизму від робототехніки є людський чинник, зумовлений інженерними помилками на етапі проєктування чи виготовлення (несправність електроніки, неправильне програмування, слабкі з'єднання між деталями та вузлами робота, невірний алгоритм) та людськими помилками під час використання, що може призвести до зупинки роботів або, навпаки, збільшити швидкість до максимального, неконтрольованого значення, викликати різкий рух або прискорення [12]. Відключення людиною запобіжних пристроїв роботів під час їх експлуатації, помилки програмування, вимкнення периферійного обладнання, датчиків та пристроїв безпеки можуть призвести до неконтрольованих рухів або дій, які стають причиною нещасних випадків. Найбільшою помилкою людей є суб'єктивне та хибне судження про безпечність роботів, довірливе ставлення до дій роботів, що під час перебування в небезпечній зоні роботи робота, під час програмування чи виконання технічного обслуговування призводить до виникнення непередбачених ситуацій [13].

Коли людина змушена працювати в зоні дії робота чи на одному робочому місці, її ізоляція від професійного сервісного робота є неефективною. Автономне та мобільне функціонування робота може призводити до небезпечних ситуацій, тому

інженери на етапі проєктування повинні враховувати етичні, фізичні та соціальні наслідки безконтрольності дій робота [14]. Іноді люди помилково вважають, що роботи мають більше людських якостей та здібностей, ніж вони самі, і навіть називають їх людськими іменами [15].

Фізична безпека роботів та людей у спільному просторі ділиться на такі категорії: оцінювання безпеки та концепція взаємодії людини і робота; безпека контакту за рахунок будови робота; пасивні сумісні системи, легкі маніпулятори, безпечні приводи та пасивні роботизовані системи; безпека взаємодії, яка досягається під час контролю і планування; зменшення ударної сили під час контакту з роботом, контроль жорсткості і гнучкості [16, 17].

Робот може бути колаборативним, якщо його конструкція містить вбудовані засоби захисту, які дозволяють йому працювати та взаємодіяти з людьми. Водночас Міжнародна організація стандартизації регламентує те, що колаборативні роботи повинні мати один із засобів безпеки:

- контроль зупинки з рейтингом безпеки. Робот вимикається, коли працівник хоче увійти у його робочий простір;
- ручне керування. Робот рухається тільки під управлінням оператора;
- моніторинг швидкості і відриву. Робот автоматично зменшує свою швидкість у міру наближення працівника до точки, де він зупиняється, коли його майже торкнуться;
- потужність і обмеження сили. Роботи обмежені в корисному навантаженні, яке вони можуть нести, і в кількості сили, яку вони можуть застосувати, на випадок, якщо вони випадково вдарять людину. А закруглені краї і м'які поверхні дозволяють зменшити ризик отримання травм у разі контакту.

Проте, незважаючи на ці засоби захисту, колаборативні роботи все ще мають значні ризики. Незалежно від того, наскільки м'якою чи округлою є рука робота, якщо її кінцевий ефектор або деталь гостра, людина все одно може отримати травму. Оскільки кожна роботизована система для спільної роботи є унікальною, оцінка ризиків має вирішальне значення для безпечного й успішного впровадження, а також є основною вимогою чинних стандартів безпеки [18].

Серед заходів забезпечення безпеки роботів є їх здатність визначати емоції людини, розпізнавати її поведінку за допомогою датчиків на шкірі людини, камери, яка імітує людське око, яка може дивитися у бік людини та реагувати на її вираз обличчя, ідентифікувати небезпеку, страждання або страх людини. З іншого боку, все це може стимулювати суб'єктивне враження людини щодо нереалістичних здібностей роботів, як-от впізнання чи міркування [19].

Існує відносно нова галузь безпеки та гігієни праці – професійна робототехніка, яка вивчає роботів,

що використовуються для співпраці на сучасному робочому місці та ділить працівників на такі типи: люди, працівники-роботи та симбіотичні робітники, тобто робітники-люди, оснащені роботизованими пристосуваннями, екзоскелетами чи протезами [20]. Професійна робототехніка досліджує методи, які є необхідними для робототехнічної оцінки ризиків та управління ними, а також етичні проблеми, які впливають на певне робоче місце [21].

Серед головних причин нещасних випадків, які виникають при контакті з робототехнікою, є низька культура безпеки. Трапляються випадки, коли роботодавець порушує правила безпеки або працівник небезпечно поводить себе, входить в зону дії ризику та самостійно виконує серію операцій у межах роботи робота [22].

Однією з головних переваг, пов'язаних з робототехнікою, є покращення умов праці співробітників: вона допомагає уникати небезпечної роботи та підвищити рівень безпеки на виробництві шляхом зменшення напруги від повторюваних завдань. Один додатковий робот на 1000 працівників може зменшити травматизацію на виробництві на 15,1–16 %, а в обробній промисловості – на 28 %. Крім того, система безпеки дозволяє контролювати зупинку робота, ручне керування, швидкість та відрив, тим самим забезпечуючи спільний робочий простір людини та робота [8, 23, 24]. До прикладу, існує дрон, який використовують електроенергетичні компанії для виявлення несправностей і збоїв у своїй мережі високої напруги. Він оснащений камерами для огляду та температурними камерами, які здатні виявляти несправності в системі високої напруги, випромінювати сигнал та записувати інформацію на жорсткий диск, що покращує обслуговування споживачів. Тим часом, робітникам, які мають напружену роботу, не потрібно так часто виконувати завдання з перевірки та технічного обслуговування [23]. Впровадження роботів зменшило кількість порушень OSHA та нещасних випадків, зокрема у сферах, пов'язаних з машинами або електрикою [14].

Застосування роботизованих металевих комірок створює ризики та небезпеки для недосвідченого або розсіяного оператора, який здійснює нагляд, обслуговування, завантаження чи розвантаження в зоні дії робота. Також це спричинено тим, що антропоморфні роботи не здатні самостійно зрозуміти, що відбувається навколо них та чи знаходиться в зоні дії людина. Вхід в робочу зону можливий через двері з кінцевими вимикачами тільки після вимкнення робота. Лазерні бар'єри – це пристрої, оснащені датчиками, які виявляють присутність невідомого тіла, вони сповільняють або зупиняють роботу робота та перезапускають його, коли безпечна відстань відновлюється, що забезпечує роботу роботизованої комірки без зупинки, а також безпеку оператора. Використання колабора-

тивних роботів забезпечує безпеку без бар'єрів – фізичних чи лазерних [25].

Використання промислових роботів в екстремальних умовах робочої зони, де рівень небезпечних та шкідливих факторів перевищує граничнодопустимі значення, дозволяє забезпечити людину від впливу цих факторів. Прикладом таких умов є використання високорадіоактивних речовин, які мають небезпечний для людей рівень іонізуючого випромінювання. Роботи-маніпулятори дозволяють не перебувати людині в небезпечній ділянці, а знаходитись в робочій зоні з товстим свинцево-бетонним захистом та здійснювати управління на відстані діями маніпуляторів (механічних рук) [13].

Небезпеки використання роботів можна згрупувати за такими основними типами:

1. Удар, зіткнення або наїзд. У цьому разі спостерігаються несподівані рухи, несправності компонентів або непередбачені зміни програми, пов'язані з роботом-маніпулятором, кінцевим ефектором або периферійним обладнанням, які можуть призвести до травмування при контакті. Роботи можуть наїхати на працівника або збити його.

2. Небезпека розчавлення та захоплення. Кінцівка або інша частина працівника може бути затиснута всередині або між роботом, кінцевим ефектором або деталлю та іншим роботом або іншим периферійним обладнанням, що може призвести до потенційного розчавлення.

3. Небезпека потрапляння важкого предмета. Поломка кінцевого механізму, заготовки, периферійного обладнання або джерела живлення є механічною несправністю, під час якої відбувається вивільнення деталей, поломка захватного пристрою або несправність кінцевого механізму електроінструменту (наприклад, шліфувального круга інструментів для видалення задирок, електричних викруток та гайковертів), що також є джерелом небезпек механічної несправності та травми.

4. Електричні небезпеки. Джерела живлення та електричні кабелі роботизованої системи можуть спричинити спалах дуги, удар, пожежу та інші небезпеки та травми від електричного струму.

5. Гідравлічні небезпеки. Під час розриву гідравлічної дії можуть утворюватися небезпечні різальні потоки під високим тиском та небезпеки травмування у зв'язку зі шлангами, які збивають. Водночас розриви або витіки можуть призвести до виникнення пожежі або опромінення працівників, якщо рідини є легкозаймистими, токсичними чи мають іншу небезпечність.

6. Пневматичні небезпеки. Розірвані пневматичні лінії можуть створювати небезпеки та травми через удари шлангів.

7. Небезпека ковзання, спотикання та падіння. Посковзнутися, спіткнутися і впасти, і опинитися

через це в небезпеці чи отримати травму можна практично на будь-якому робочому місці. Розливи або витoki можуть призвести до небезпеки ковзання. Через обладнання, кабелі живлення та шланги теж можливо спіткнутися та впасти. Тому загальне прибирання необхідно підтримувати на всіх робочих місцях.

8. Екологічна безпека. Маються на увазі небезпеки середовища, в якому працює робот, а саме: випари хімічних речовин (наприклад, від зварювання), тепло, гарячі поверхні, пил, небезпеки орієнтації обладнання, радіація, потенційно небезпечне яскраве світло, іскри та шум.

До найбільш поширених джерел небезпек роботів відносять людські помилки інтеграції або програмування. Найбільш частим непорозумінням щодо роботи є його напрямок руху. Працівник може спостерігати за роботом і говорити йому рухатись ліворуч, але він буде рухатись праворуч з погляду працівника. Програмування, підключення периферійного обладнання або обробка живих ввід-виводів контролером робота або периферійним контролером може спричинити небезпечний, непередбачуваний рух або дію. Неправильна активація підвіски навчання або панелі керування є поширеною робочою помилкою, але найрозповсюдженішою проблемою є випадки, коли працівник ставить себе в небезпечне становище під час програмування, інтеграції, усунення несправностей або виконання технічного обслуговування. Також серед основних джерел небезпеки є помилки контролю, які виникають під час несправності в системі керування додатком робота, помилки програмного забезпечення, електромагнітні або радіочастотні перешкоди, помилки керування або збої. Крім того, це може статися через несправності в гідравлічних, пневматичних або електричних допоміжних елементах керування, пов'язаних із роботом, роботосистемою чи програмою. Несанкціонований доступ відбувається, коли робітник здійснює вхід у обмежений простір, який є небезпечним, оскільки відповідний працівник може бути не знайомий із небезпекою, наявними запобіжними заходами чи статусом їх активації. Механічні несправності є ще одним джерелом небезпеки. Операційні програми не враховують кумулятивну несправність механічних частин, що призводить до неочікуваної роботи. Перевірка та технічне обслуговування повинні виконуватися відповідно до вимог виробництва та промислових стандартів. Часто роботодавці, а інколи самі працівники поспішають у зв'язку з браком часу, з метою якнайшвидшого відновлення діяльності. Коли працівники квапляться відновити роботу, обслуговування може бути пропущене, зупинка або запуск можуть бути знехтуваними, положення інших працівників може бути не помічено, що призведе до небезпеки та травми. До екологічних джерел небезпеки можливо віднести

вплив води, тепла, пилу, горючої чи легкозаймистої атмосфери та джерел навколишнього середовища, які можуть негативно вплинути на роботу робота або призвести до збою його роботи. Якщо робот не призначений для навколишнього середовища, вплив цих джерел на робота може спричинити ураження електричним струмом, пожежу або вибух, а також збільшити ймовірність травмування працівників у цій зоні. Слід вважати, що електромагнітні або радіочастотні перешкоди (перехідні сигнали) мають небажаний вплив на роботу та збільшують можливість травмування працівників у цій зоні.

Збої або несправності в системі живлення є джерелами небезпек, причому пневматичні, гідравлічні чи електричні джерела живлення, які мають несправні елементи керування, або трансмісії в системі живлення робота можуть порушити електричні сигнали до ліній керування або джерел живлення. Ризик пожежі підвищується через електричні перевантаження або використання легкозаймистої гідравлічної рідини. Ураження електричним струмом та вивільнення енергії з накопичувальних пристроїв також можуть бути небезпечними для працівників. Неправильна збірка та встановлення є ще одним джерелом небезпеки. Дизайн та компонування роботів, інженерних комунікацій і засобів застосування роботів, якщо вони не відповідають певним нормам та стандартам безпеки, можуть призвести до небезпеки та травм [26].

Багато нещасних випадків, пов'язаних з роботами, трапляються не за звичайних умов експлуатації, а під час складання, встановлення та тестування, коли працівники вперше зіштовхуються з роботом. На цих етапах виникають помилки в проектуванні, складанні та інсталяції – під час початкового програмування та технічного обслуговування (ремонт, тестування або налаштування). Прикладом аварії є нещасний випадок, коли програма робота працювала як інтегрована, але під час виконання програми стався несподіваний рух, який призвів до удару працівника. Причинами цього нещасного випадку було те, що працівник не був ознайомлений з програмою та її очікуваними рухами; не було заздалегідь визначених місць для програмування завдань, тому працівник перебував у місці з поганою видимістю; під час програмування у працівника не було навчальної підвіски з дозвільним пристроєм.

Наступний нещасний випадок виник, коли працівник увійшов в обмежувальний простір під час автоматичної роботи пристрою для обробки матеріалів. Робітника було загнуто між задньою частиною маніпулятора та запобіжним стовпом. Причинами цього нещасного випадку була неналежна охорона периметра. Працівник зміг увійти в охоронюваний простір без спрацьовування захисної зупинки, а запобіжний стовп був розташований неправильно і становив небезпеку розчавлення.

Ще один нещасний випадок стався, коли один працівник випадково вимкнув вимикач живлення, а інший робітник з технічного обслуговування в цей час обслуговував монтажного робота. Унаслідок цього маніпулятор зачепив руку ремонтника. Причинами цього нещасного випадку стало те, що блокування та маркування, що унеможливили б повторне включення монтажного робота, не були застосовані або були застосовані неправильно. Робот не відповідає стандартам електробезпеки, оскільки вимкнення живлення не повинно призводити до роботи або руху програми-робота. Доступ до перемикача живлення був неналежним.

Працівник сервісної компанії в автоматичному режимі очищав оптичну поверхню рефлектора (датчика) фотопроменя. Після очищення датчик надіслав сигнал системі робота автоматично відновити запрограмований шлях, і працівник отримав удар. До причин цього нещасного випадку відноситься те, що під час автоматизованої роботи не допускається обслуговування, якщо відсутні засоби захисту, які перешкоджають роботі, спричинятимуть зупинку та не дозволять повторний запуск; було забезпечено недостатні блокування та маркування для здійснення операції [27].

29-річний чоловік помер від травм, які він отримав під час удару по голові одностороннім порталним роботом. Перед цим жертва змінила форму на 1500-тонній горизонтальній машині для лиття під тиском. Працівник шукав інструменти, які, можливо, залишив у машині під час операції налаштування. Потерпілий піднявся на щиток для продувки й нахилився над верхньою частиною нерухомої плити, намагаючись перевірити, чи залишилися інструменти в зоні прес-форми, і помістив голову під раму порталу робота. Коли він намагався зазирнути всередину форми, робот зробив цикл, і голова жертви була вдарена збоку та розчавлена між роботом і його опорою. Інший працівник помітив потерпілого та, побачивши його стан, викликав колег, щоб перенести його на підлогу. Були викликані рятувальники, під час очікування їхнього прибуття працівники зробили масаж грудної клітини та виконали інші процедури першої допомоги. Після прибуття до місцевої лікарні потерпілий був оголошений мертвим [28].

Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) негативно впливає на здоров'я та безпеку працівників, особливо тих, хто працює на висоті. БПЛА можуть відволікати увагу, тим самим збільшуючи ймовірність падінь. Вони здатні записувати діяльність працівників, що може вплинути на їх психологічний або емоційний стан [28].

Працівники, які працюють в зоні дії робота, повинні володіти культурою безпеки, а саме організаційною культурою, яка передбачає розуміння працівниками відповідальності за свої дії. Мета культури безпеки повинна полягати в тому, щоб

працівники знали, яка поведінка є прийнятною, а яка непринятною під час виробничих операцій. Працівники мають бути навчені розпізнавати небезпечну поведінку та небезпечні умови та знати, до кого звернутись, коли щось трапиться. Керівництво зобов'язано забезпечити дотримання своєї політики та процедур безпеки, щоб завжди підтримувати безпеку виробничих цехів; застосовувати лідерські навички під час забезпечення реалізації стандартів безпеки, що допоможе запобігти нещасним випадкам ще до того, як вони виникнуть [9].

Постійне впровадження передових промислових, професійних, сервісних і колаборативних роботів, які працюють поруч з працівниками, вимагає активного підходу до оцінки та управління профілем ризику професійної робототехніки [29], що може бути реалізований шляхом створення та впровадження нової методики для оцінки та управління професійними ризиками при роботі з колаборативними роботами.

Оцінка професійного ризику є першим критичним кроком, який підприємства мають зробити для захисту працівників. Роботодавці повинні переконатися, що працівники розуміють та усвідомлюють небезпеки, пов'язані з експлуатацією роботів. До початку впровадження промислових роботів необхідно провести оцінку професійних ризиків на етапі їх проектування. На цьому етапі встановлюються фізичні та робочі обмеження промислового робота, його призначення та напрями використання. Далі виявляються передбачувані небезпеки та відповідні небезпечні умови, які можуть виникати в зоні дії робота. Оцінка професійних ризиків надасть можливість визначити відповідний тип засобів контролю функціональної безпеки, які слід запровадити для зниження професійного ризику до прийняттого рівня. Оцінку професійних ризиків можливо використати для мінімізації рівня професійного ризику. Результати отримані під час цієї оцінки дозволять визначити тип обладнання та засобів керування, які застосовуються для системи керування безпекою. Для обмеження доступу в небезпечну зону можливо використати засоби інженерного контролю, до яких відносяться надійне електромеханічне блокування дверей, стаціонарні шлагбауми, системи керування приводом одночасно двома руками та пристрої визначення присутності, зокрема світлові завіси або зональні лазерні сканери. Адміністративний контроль є найменш ефективним, бо він спирається на людину та має лише можливість зменшення ймовірності шкоди. Елементи керування повинні мати пристрої оповіщення, знаки безпеки, звукові сигнали та візуальні попереджувальні лампи, які можуть сповістити працівника про небезпеку. Вони також повинні охоплювати процедури експлуатації, технічного обслуговування промислових роботів та навчання працівників [30].

Інструмент, орієнтований на користувача, був розроблений для виконання ергономічної оцінки ризику за допомогою аналізу ефекту режиму відмови процесу для різних рівнів автоматизації взаємодії людини та кобота. Інструмент пропонує рекомендовані дії та різні варіанти усунення тілесних ушкоджень [31], але він не є універсальним, бо застосовується тільки для оцінки ергономічних ризиків.

Існує методика для оцінки ергономічних ризиків, заснована на використанні 3D-симуляції як інструменту оцінки безпеки на основі вказівок ISO/TS 15066:2016, для робочої комірки кобота [32] ще на етапі його проєктування, але наведена методика має вузьке застосування, бо враховує лише ергономічні ризики та може бути застосована тільки на етапі проєктування.

Вимірювальна рука Absolute Arm 7-Axis має повноцінне портативне плече, шарнірний вимірювальний важіль, який забезпечує тактильне зондування та безконтактне сканування, під час якого інформує про фактори навколишнього середовища, які можуть негативно вплинути на результати вимірювання, як-от вібрація, зміщення основи кронштейну, нахил, загальна нестабільність кронштейну, а також температура навколишнього середовища [33].

Координатно-вимірювальна машина GLOBAL S GREEN 05.07.05 має систему управління, яка контролює робочий простір та, якщо щось стороннє з'являється в робочій зоні (зоні оповіщення), машина уповільнює свою роботу, а потім самостійно відновлює високу швидкість вимірювань без участі оператора, щойно робоча зона звільняється. На точність вимірювання не впливають різкі зміни умов навколишнього середовища, як-от вібрація, пил та температура [34].

Висновки

1. Під час проведення дослідження було встановлено, що залежно від природи походження небезпеки робототехніки можливо розділити на типи: механічні, які можуть виникати при ненавмисній чи несподіваній дії або під час зміни інструменту; контакти з небезпечними джерелами енергії, які можуть призвести до ураження електричним струмом при контакті зі з'єднаннями, струмоведучими частинами чи зі спалахом електричної дуги; термічні, які виникають при контакті з гарячими чи холодними поверхнями; шум, радіація, хімічні речовини, інфекції та інші небезпеки.

2. Причинами травматизму від робототехніки є людський чинник, низька культура безпеки, експлуатаційні та конструктивні характеристики роботів.

3. Ізоляція від професійно-сервісного робота є неефективною, коли людина змушена працювати в зоні дії робота чи на одному робочому місці.

4. Фізичну безпеку роботів та людей у спіль-

ному просторі можливо розділити на такі категорії: оцінювання безпеки та концепція взаємодії людини і робота; безпека контакту за рахунок будови робота; пасивні сумісні системи, легкі маніпулятори, безпечні приводи та пасивні роботизовані системи.

5. Оскільки кожна роботизована система для спільної роботи є унікальною, то оцінка ризиків має вирішальне значення для безпечного й успішного впровадження.

6. Наявні методики для оцінки професійних ризиків роботів враховують лише ергономічні ризики та можуть бути застосовані лише на етапі їх проєктування.

Література

1. Осипова І., Халіль В. Автоматизація виробництва та питання безпеки працівників автоматизованих та роботизованих ліній. V Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Перспективи розвитку територій: теорія і практика»: матеріали Міжнар. наук. конф., м. Харків, 18–19 листоп. 2021 р. Харків, 2021. С. 530–534. URL: https://eprints.kname.edu.ua/61043/1/PMB_2021-530-534.pdf (дата звернення: 14.04.2024).
2. Українські новини. Роботи можуть становити небезпеку для людства. *ukranews.com*. URL: <https://ukranews.com/ua/news/437777-roboty-mozhut-stanovytu-nebezpeku-dlya-lyudstva> (дата звернення: 14.04.2024).
3. Вауліна Ф. Роботи зі штучним інтелектом схильні приймати сексистські та расистські рішення – вчені. *Дзеркало тижня*. URL: <https://zn.ua/ukr/TECHNOLOGIES/roboti-zi-shtuchnim-intelektom-skhillni-prijmati-seksistski-ta-rasistski-rishennja-vcheni.html> (дата звернення: 14.04.2024).
4. Рубцова М., Резнікова Н. Проблема підвищення продуктивності праці людини та розвитку її компетентностей в умовах роботизації сфер виробництва та послуг. *Ефективна економіка*. 2018. № 9. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6634> (дата звернення: 14.04.2024).
5. *The impact of technological innovation on the future of work* / M. Goos et al. Seville : European Commission, 2019. 39 p. URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/reports-and-technical-documentation/impact-technological-innovation-future-work_en (date of access: 14.04.2024).
6. *What are the policy options? A systematic review of policy responses to the impacts of robotisation and automation on the labour market*. Seville : European Commission, Joint Research Centre (JRC, 2019. 18 p. URL: <https://hdl.handle.net/10419/202183> (date of access: 14.04.2024).
7. Роботфобія - страх по відношенню до будь-якої робототехніки | Український психологічний ХАБ | ПСИХОЛОГ. ПСИХОЛОГ. URL: <http://surl.li/somen> (дата звернення: 14.04.2024).
8. *Industrial robots, workers' safety, and health* / R. Gihleb et al. *Labour economics*. 2022. P. 102205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2022.102205> (date of access: 14.04.2024).
9. Murashov V., Hearl F., Howard J. Working safely with robot workers: recommendations for the new workplace. *Journal of occupational and environmental hygiene*. 2016. Vol. 13, no. 3. P. D61–D71. URL: <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1116700> (date of

- access: 14.04.2024).
10. Rawlinson B. K. Microsoft's Bill Gates insists AI is a threat. *BBC News*. URL: <http://www.bbc.com/news/31047780> (date of access: 14.04.2024).
11. Brumfield B. Car assembly line robot kills worker in Germany | CNN. URL: <https://edition.cnn.com/2015/07/02/europe/germany-volkswagen-robot-kills-worker/index.html> (date of access: 14.04.2024).
12. Vasic M., Billard A. Safety issues in human-robot interactions. 2013 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA), Karlsruhe, Germany, 6–10 May 2013. 2013. URL: <https://doi.org/10.1109/icra.2013.6630576> (date of access: 14.04.2024).
13. OSHA technical manual (OTM) - section IV: chapter 4 | occupational safety and health administration. Access Denied. URL: <https://www.osha.gov/otm/section-4-safety-hazards/chapter-4> (date of access: 14.04.2024).
14. Employees's safety with robotic cells | Tera Automation. Automazione industriale Tera Automation | automazioni intelligenti. URL: <https://www.tera-automation.com/en/blog/332-employees's-safety-with-robotic-cells> (date of access: 14.04.2024).
15. Rogers E. Introduction to Human-Computer Interaction (HCI). San Luis Obispo, Ca : California Polytechnic State University, 2004. URL: https://www.edubull.com/Content/eRepository/eBook_Input/93269.pdf (date of access: 14.04.2024).
16. Reeves B., Nass C. I. The media equation: how people treat computers, television, and new media like real people and places. *Center for the study of language and information*. 1996. P. 19–36. URL: https://www.researchgate.net/publication/37705092_The_Media_Equation_How_People_Treat_Computers_Television_and_New_Media_Like_Real_People_and_Pl (date of access: 14.04.2024).
17. Vargas S. Robots in the workplace. *Workplace Safety News and Tips - Safety+Health Magazine*. URL: <https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/16789-robots-in-the-workplace> (date of access: 14.04.2024).
18. Pervez A., Ryu J. Safe physical human robot interaction-past, present and future. *Journal of mechanical science and technology*. 2008. Vol. 22, no. 3. P. 469–483. URL: <https://doi.org/10.1007/s12206-007-1109-3> (date of access: 14.04.2024).
19. Ribeiro L., Barata J., Barreira P. Is ambient intelligence a truly human-centric paradigm in industry? *Current research and application scenario. Enterprise and work innovation studies*. 2009. No. 5. P. 25–35. URL: <https://run.unl.pt/handle/10362/4098?locale=en> (date of access: 14.04.2024).
20. The coming robot dystopia. *Foreign Affairs*. URL: <https://www.foreignaffairs.com/coming-robot-dystopia> (date of access: 14.04.2024).
21. Schulte P. A., Salamanca-Buentello F. Ethical and scientific issues of nanotechnology in the workplace. *Ciência & saúde coletiva*. 2007. Vol. 12, no. 5. P. 1319–1332. URL: <https://doi.org/10.1590/s1413-81232007000500030> (date of access: 14.04.2024).
22. Mercader Uguina J., Muñoz Ruiz A. Robotics and Health and Safety at Work. *International Journal of Swarm Intelligence and Evolutionary Computation*. 2019. No. 8 (1). P. 1–7. URL: <http://hdl.handle.net/10016/34839>.
23. Robots can improve safety in the workplace - Smart Futures. *Smart Futures - The online portal dedicated to digitalisation*. URL: <https://smartfutures.org.uk/robots-can-improve-safety-in-the-workplace/> (date of access: 14.04.2024).
24. Li L., Perry S. The effect of industrial robots on workplace safety. *Center for Policy Research*, 2021. 37 p. URL: <https://surface.syr.edu/cpr/276> (date of access: 15.04.2024).
25. Безпека функціонування автоматизованих і роботизованих виробництв. *Stud*. URL: https://stud.com.ua/28537/bzhd/bezpeka_funkcionuvannya_avtomatizovanih_robotizovanih_virobnitsv (дата звернення: 14.04.2024).
26. FACE program: Michigan case report 01MI002 | NIOSH / CDC. Centers for Disease Control and Prevention. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/face/stateface/mi/01mi002.html> (date of access: 14.04.2024).
27. Jeelani I., Gheisari M. Safety challenges of UAV integration in construction: conceptual analysis and future research roadmap. *Safety science*. 2021. Vol. 144. P. 105473. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105473> (date of access: 15.04.2024).
28. Basello J. Robotics and humans: manufacturing safety practices on the plant floor. *Radical Automation: Radwell International's Blog*. URL: <https://blog.radwell.com/robotics-and-humans-manufacturing-safety-practices-on-the-plant-floor> (date of access: 14.04.2024).
29. Occupational health and safety issues in human-robot collaboration: state of the art and open challenges / A. Giallanza et al. *Safety science*. 2024. Vol. 169. P. 106313. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106313> (date of access: 15.04.2024).
30. Water. rest. shade. top tips for working safely in the heat. *Skillsoft*. URL: <https://www.skillsoft.com/blog/water-rest-shade-top-tips-for-working-safely-in-the-heat> (date of access: 14.04.2024).
31. Cobot And Robot Risk Assessment (CARRA) method: an Automation Level-Based Safety Assessment Tool to Improve Fluency in Safe Human Cobot/Robot Interaction / R. T. Stone et al. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2021. Vol. 65, no. 1. P. 737–741. URL: <https://doi.org/10.1177/1071181321651024> (date of access: 14.04.2024).
32. Raza M., Malik A. A., Bilberg A. Virtual Modeling as a Safety Assessment Tool for a Collaborative Robot (Cobot) Work Cell Based on ISO/TS 15066:2016. *Towards Sustainable Customization: Bridging Smart Products and Manufacturing Systems*. Cham, 2021. C. 233–241. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-90700-6_26 (дата звернення: 14.04.2024).
33. Absolute Arm 7-Axis. *Hexagon*. URL: <https://hexagon.com/products/absolute-arm-7-axis> (date of access: 14.04.2024).
34. Dea. *Hexagon*. URL: <https://hexagon.com/company/divisions/manufacturing-intelligence/dea> (date of access: 14.04.2024).

References

- Osypova, I., & Khalil, V. (2021). Avtomatyzatsiia vyrobnytstva ta pytannia bezpeky pratsivnykiv avtomatyzovanykh ta robotyzovanykh lini. U *V Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia здобувачив вищої освіти і молодих учених «Perspektyvy rozvytku terytorii: Teoriia i praktyka»* (s. 530–534). Kharkivskyy natsionalnyi universytet miskoho hospodarstva imeni O. M. Beketova. https://eprints.kname.edu.ua/61043/1/PMB_2021-530-534.pdf
- Ukrainski novyny. (2016, 7 lypnia). *Roboty mozhut stanovyty nebezpeku dlia liudstva*. [ukranews_com. https://ukranews.com/ua/news/43777-roboty-mozhut-stanovyty-nebezpeku-dlya-lyudstva](https://ukranews.com/ua/news/43777-roboty-mozhut-stanovyty-nebezpeku-dlya-lyudstva).
- Vaulina, F. (2022, 27 chervnia). *Roboty zi shtuchnym intelektom skhylni pryimaty seksystyski ta rasyystyski rishennia – vcheni*. Dzerkalo tyzhnia. <https://zn.ua/ukr/TECHNOLOGIES/roboti-zi-shtuchnim-intelektom-skhilni-prijmati-seksystyski-ta-rasyystyski-rishennja>

[vcheni.html](#).

4. Rubtsova, M., & Reznikova, N. (2018). Problema pidvyshchennia produktyvnosti pratsi liudyny ta rozvytku yii kompetentnosti v umovakh robotyzatsii sfer vyrobnytstva ta posluh. *Efektivna ekonomika*, (9). <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6634>.
5. Goos, M., Arntz, M., Zierahn, U., Gregory, T., Carretero Gómez, S., González Vázquez, I., & Jonkers, K. (2019). *The impact of technological innovation on the future of work* (JRC117212). European Commission. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/reports-and-technical-documentation/impact-technological-innovation-future-work_en.
6. *What are the policy options? A systematic review of policy responses to the impacts of robotisation and automation on the labour market* (JRC Working Papers on Corporate R&D and Innovation, № 02/2019). (2019). European Commission, Joint Research Centre (JRC). <https://hdl.handle.net/10419/202183>.
7. *Robofobiia - strakh po vidnoshenniu do bud-yakoi roboto-tekhniky | Ukrainyskiy psikhologichnyi KhAB | PSYKhOLOH*. (b. d.). PSYKhOLOH. <http://surf.li/somen>.
8. Gihleb, R., Giuntella, O., Stella, L., & Wang, T. (2022). Industrial robots, workers' safety, and health. *Labour Economics*, 102205. <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2022.102205>.
9. Murashov, V., Hearl, F., & Howard, J. (2016). Working safely with robot workers: Recommendations for the new workplace. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13(3), D61–D71. <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1116700>.
10. Rawlinson, B. K. (2015, 29 sichnia). *Microsoft's Bill Gates insists AI is a threat*. BBC News. <http://www.bbc.com/news/31047780>.
11. Brumfield, B. (2015, 2 lypnia). *Car assembly line robot kills worker in Germany | CNN*. CNN. <https://edition.cnn.com/2015/07/02/europe/germany-volkswagen-robot-kills-worker/index.html>.
12. Vasic, M., & Billard, A. (2013). Safety issues in human-robot interactions. U *2013 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/icra.2013.6630576>.
13. *OSHA technical manual (OTM) - section IV: Chapter 4 | occupational safety and health administration*. (b. d.). Access Denied. <https://www.osha.gov/otm/section-4-safety-hazards/chapter-4>.
14. *Employees's safety with robotic cells | Tera Automation*. (b. d.). Automazione industriale Tera Automation | automazioni intelligenti. <https://www.tera-automation.com/en/blog/332-employees's-safety-with-robotic-cells>.
15. Rogers, E. (2004). *Introduction to Human-Computer Interaction (HCI)*. California Polytechnic State University. https://www.edubull.com/Content/eRepository/eBook_Input/93269.pdf.
16. Reeves, B., & Nass, C. I. (1996). The media equation: How people treat computers, television, and new media like real people and places. *Center for the Study of Language and Information*, 19–36. https://www.researchgate.net/publication/37705092_The_Media_Equation_How_People_Treat_Computers_Television_and_New_Media_Like_Real_People_and_Places.
17. Vargas, S. (2018, 1 kvitnia). *Robots in the workplace*. Workplace Safety News and Tips - Safety+Health Magazine. <https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/16789-robots-in-the-workplace>.
18. Pervez, A., & Ryu, J. (2008). Safe physical human robot interaction-past, present and future. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 22(3), 469–483. <https://doi.org/10.1007/s12206-007-1109-3>.
19. Ribeiro, L., Barata, J., & Barreira, P. (2009). Is ambient intelligence a truly human-centric paradigm in industry? Current research and application scenario. *Enterprise and Work Innovation Studies*, (5), 25–35. <https://run.unl.pt/handle/10362/4098?locale=en>.
20. *The Coming Robot Dystopia*. (b. d.). Foreign Affairs. <https://www.foreignaffairs.com/coming-robot-dystopia>.
21. Schulte, P. A., & Salamanca-Buentello, F. (2007). Ethical and scientific issues of nanotechnology in the workplace. *Ciência & saúde coletiva*, 12(5), 1319–1332. <https://doi.org/10.1590/s1413-81232007000500030>.
22. Mercader Uguina, J., & Muñoz Ruiz, A. (2019). Robotics and health and safety at work. *International Journal of Swarm Intelligence and Evolutionary Computation*, (8 (1)), 1–7. <http://hdl.handle.net/10016/34839>.
23. *Robots can improve safety in the workplace - Smart Futures*. (b. d.). Smart Futures - The online portal dedicated to digitalisation. <https://smartfutures.org.uk/robots-can-improve-safety-in-the-workplace/>.
24. Li, L., & Perry, S. (2021). The effect of industrial robots on workplace safety. *Center for Policy Research*. <https://surface.syr.edu/cpr/276> (Oryhinal opublikovano 2021 r.).
25. *Bezpeka funkcionuvannia avtomatyzovanykh i robotyzovanykh vyrobnytstv*. (b. d.). Stud. https://stud.com.ua/28537/bzhd/bezpeka_funkcionuvannia_a_vtomatizovanih_robotizovanih_virobnitstv.
26. FACE program: Michigan case report 01MI002 | NIOSH | CDC. (n.d.). Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/face/stateface/mi/01mi002.html>.
27. Jeelani, I., & Gheisari, M. (2021). Safety challenges of UAV integration in construction: Conceptual analysis and future research roadmap. *Safety Science*, 144, 105473. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105473>.
28. Basello, J. (2022, April 5). Robotics and humans: Manufacturing safety practices on the plant floor. *Radical Automation: Radwell International's Blog*. <https://blog.radwell.com/robotics-and-humans-manufacturing-safety-practices-on-the-plant-floor>.
29. Giallanza, A., La Scalia, G., Micale, R., & La Fata, C. M. (2024). Occupational health and safety issues in human-robot collaboration: State of the art and open challenges. *Safety Science*, 169, 106313. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106313>.
30. Water. rest. shade. top tips for working safely in the heat. (n.d.). Skillsoft. <https://www.skillsoft.com/blog/water-rest-shade-top-tips-for-working-safely-in-the-heat>.
31. Stone, R. T., Pujari, S., Mumani, A., Fales, C., & Ameen, M. (2021). Cobot and robot risk assessment (CARRA) method: An automation level-based safety assessment tool to improve fluency in safe human cobot/robot interaction. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 65(1), 737–741. <https://doi.org/10.1177/1071181321651024>.
32. Raza, M., Malik, A. A., & Bilberg, A. (2021). Virtual modeling as a safety assessment tool for a collaborative robot (cobot) work cell based on ISO/TS 15066:2016. In *Towards sustainable customization: Bridging smart products and manufacturing systems* (pp. 233–241). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90700-6_26.
33. *Absolute Arm 7-Axis*. (n.d.). Hexagon. <https://hexagon.com/products/absolute-arm-7-axis>.
34. *Dea*. (n.d.). Hexagon. <https://hexagon.com/company/divisions/manufacturing-intelligence/dea>.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.І. Мельник, Державний біотехнологічний університет, Україна.

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

ROBOTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: SAFETY MEASURES AND POTENTIAL THREATS

B. Tsymbal

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
LLC «Technical University “Metinvest Polytechnic”», Zaporizhzhia, Ukraine

The article considers the application of robotics and artificial intelligence in everyday life and at work. Existing research has shown that industrial and domestic robot design and operational characteristics can threaten human life and health and serve as safety measures. At the same time, modern collaborative robots share the same workspace as humans. The study found that, depending on the nature of the origin, it is possible to divide robotics hazards into the following types: mechanical, which can arise from an unintentional or unexpected action or when changing tools; contact with dangerous energy sources that can lead to electric shock when touching connections, current-carrying parts, or an electric arc flash; thermal, which arise from contact with hot or cold surfaces; noise, radiation, chemicals, infections, and other hazards. Many robot-related accidents do not occur during operation but often during the design, installation, and testing process when workers first encounter the robot. The causes of robotics-related injuries include the human factor, poor safety culture, and the robot's operational and design characteristics. Isolation from a professional service robot is ineffective when a person has to work in the robot's area of operation or at the same workplace. The physical safety of robots and humans in shared spaces includes the following categories: safety assessment and the concept of human-robot interaction; contact safety due to robot design; passive interoperable systems, lightweight manipulators, safe actuators, and passive robotic systems. Every collaborative robot system is unique, so risk assessment is crucial for safe and successful implementation. Existing methods for assessing occupational risks of robots mainly consider ergonomic risks and can only be applied at the design stage. Some existing machines and measuring arms have a control system that monitors the workspace. If something foreign appears in the work area, the machine slows down and resumes high measurement speeds automatically.

Keywords: safety culture, safety measures, industrial work, occupational risk assessment.