

УДК 621.865:004.896

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-4>

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Цимбал Богдан Михайлович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри охорони праці та техногенно-екологічної безпеки
Національний університет цивільного захисту України;
доцент кафедри автоматизації, електро- та роботехнічних систем
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0000-0002-2317-3428

Сичов Володимир Вікторович,

здобувач вищої освіти
факультету автоматизації виробництва та цифрових технологій
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
ORCID ID: 0009-0005-3767-3473

У статті представлено особливості роботизації металургійного виробництва України. Встановлено, що металургійна галузь України потребує заміни людської праці робочих професій, які працюють в екстремальних умовах, таких як підвищена температура, загазованість робочої зони, яскраве опромінювання, гарячі поверхні, протяги, які можуть призвести до нещасних випадків та професійним захворювань. Розглянуто переваги застосування промислових роботів та робототехнічних систем задля зменшення трудомісткості, заміни ручної праці, зменшення ризиків для безпеки працівників, збільшення потужності виробництва. Встановлено, що застосування промислових роботів може виключити людський чинник під час виконання стандартизованих операцій, визначення якості продукції, температури, відбору проб та вибраковування готової продукції. Визначено, що використання робота-пробовідбірника дає змогу уникнути неточностей та помилок під час відбору проб на транспортних засобах. Запропоновано для виконання цих операцій використовувати 6-осьовий промисловий робот та 14-метрову напрямну для формування 7-осьового режиму руху, при цьому напрямна рейка промислового робота може бути вмонтована вздовж напрямку руху каретки. Встановлено, що наявний процес видалення шлаку виконується під час застосування ручного спостереження та контролю за виконанням технологічних операцій, а також тих, які пов'язані з експлуатацією обладнання та ґрунтуються на ручному визначенні, контролі шляху та глибини видалення шлаку, що може призвести до тривалого виробництва, серйозних втрат заліза, надмірного або недостатнього видалення шлаку та металу в ковші. Запропоновано металургійним підприємствам впровадити в експлуатацію робототехнічну систему для видалення залишків шлаку. Встановлено, що традиційний спосіб змащування агломераційного візка вимагає його зупинки та ручного змащування, а також ручного очищення та обслуговування після роботи, але наявні металевий пил та суха речовина, яка утворюється під час спікання пилу та мастила, при цьому підшипниковий вузол буде недостатньо змащений та буде відбуватися процес зношування осі колеса від абразиву та недостатнього змащування. Експлуатація промислового робота для автоматичного очищення маслозаливного отвору може запобігти прилипанню пилу до маслозаливного отвору та її потраплянню на вісь колеса та компоненти підшипника, що може зменшити швидкість зношування.

Ключові слова: промислові роботи, роботизовані системи, металургійні виробництва, екстремальні умови праці, змащування агломераційного візка, відбір проб, контроль температури в сталеплавильній печі, видалення шлаку.

Tsybmal Bohdan, Sychov Volodymyr. Features of Robotisation of Metallurgical Production

The article presents the features of robotization of metallurgical production in Ukraine. It has been established that the metallurgical industry of Ukraine needs to replace human labour with workers who work in extreme conditions, such as high temperature, gas pollution in the working area, bright radiation, hot surfaces, drafts, which can lead to accidents and occupational diseases. The paper examines the benefits of using industrial robots and robotic systems to reduce labour intensity, replace manual labour, reduce risks to employee safety, and increase production capacity. It has been established that the use of industrial robots can eliminate the human factor when performing standardized operations, determining product quality, temperature, sampling and rejecting finished products. It was determined that the use of a robotic sampler allows avoiding inaccuracies and errors during sampling on vehicles. It was proposed to use a 6-axis industrial robot and a 14-metre guide rail to form a 7-axis mode of movement, with the industrial robot guide rail

mounted along the direction of the carriage. It was found that the existing slag removal process is carried out using manual observation and control over the performance of technological operations, operations that are associated with the operation of equipment and are based on manual determination and control of the path and depth of slag removal, which can lead to long production, serious iron losses, excessive or insufficient removal of slag and metal in the ladle. It was proposed that metallurgical enterprises should introduce a robotic system for removing slag residues. It was found that the traditional method of lubricating the sintering trolley requires it to be stopped and manually lubricated, as well as manual cleaning and maintenance after operation, but the metal dust and dry matter generated during the sintering of dust and lubricating oil, while the bearing assembly will be insufficiently lubricated and the wheel axle will be worn out, from abrasion and insufficient lubrication. The operation of an industrial robot to automatically clean the oil filling hole can prevent dust from sticking to the oil filling hole and entering the wheel axle and bearing components, which can reduce the wear rate.

Key words: industrial robots, robotic systems, metallurgical production, extreme working conditions, sinter trolley lubrication, sampling, temperature control in a steelmaking furnace, slag removal.

Для великих металургійних підприємств характерний довготривалий процес виробництва чавуну та сталі, що переважно включає низку складних, низькотехнологічних, ресурсомістких етапів – коксування, спікання, гранулювання та виробництво чавуну в доменній печі [1]. На стадії виробництва сталі переважно є такі процеси, як конвертер, рафінувальна піч, безперервне лиття та прокатка [2].

Процес виробництва чавуну та сталі має безперервне, дискретне та напівбезперервне співіснування, яке є відносно складним, і більша частина виробничого процесу є напівструктурною та неструктурованою, при цьому оптимізувати обробку важко [3]. Вирішити цю проблему має поєднання технології штучного інтелекту та традиційних методів.

Традиційна металургійна промисловість є галуззю з високим споживанням енергії та високим рівнем забруднення, яка має характеристики високої температури, високого рівня пилу, високого рівня шуму та інших агресивних середовищ і високих ризиків, таких як рідкий розплавлений метал [4]. Вдосконалення галузі щодо технологічних інновацій відбувається поступово заміною ручних операцій промисловими роботами. Це матиме комплексний позитивний вплив, який дасть змогу зменшити ризики безпеки працівників, трудомісткість, собівартість продукції, підвищити ефективність праці та екологічність виробничого процесу [5].

Наразі більшість майбутніх проєктів роботів, які можуть успішно застосовуватись на металургійних підприємствах України, зосереджено у сталеплавильному та постсталеплавильному виробництві, що також пов'язано зі швидкими темпами та високим ступенем автоматизації самої виробничої лінії. Наприклад, вимірювання температури та відбір проб перед сталеплавильною піччю, автоматичне видалення ливарного шлаку, перевірка та відбір проб, розпилення номерів заготовок, розпилювальний

друк сталевих рулонів, об'єднання, роз'єднання, маркування [6].

Роботизація металургійного виробництва має великі перспективи та переваги, бо може замінити ручну працю. При цьому робоча зона характеризується підвищеною небезпекою зі шкідливими та небезпечними чинниками, такими як аномально високі температури, велика кількість пилу та малий простір на металургійних виробництвах, нагальні вимоги підприємств щодо збільшення виробничих потужностей, покращення процесів виробництва продукції та підвищення якості продукції, а також дедалі серйозніші труднощі з підбором персоналу на підприємствах. Це може спонукати металургійні підприємства України експлуатувати промислових роботів [7]. Вони можуть набути широкого застосування у виробництві сталі, чавуну, гарячій і холодній прокатці та інших промислових ланках на металургійних підприємствах.

Метою дослідження є підвищення продуктивності виробництва, енергоефективності, безпеки праці, підвищення якості готової продукції за рахунок роботизації металургійного виробництва. Для досягнення поставленої мети треба вирішити такі завдання:

- визначити роботи, які виконуються в екстремальних умовах та підлягають роботизації;
- розробити рекомендації, щодо застосування промислових роботів у металургійному виробництві;
- провести аналіз та визначити переваги експлуатації промислових роботів на металургійних заводах.

Об'єктом дослідження є промислові роботи для металургійного виробництва. Предметом дослідження є роботизація металургійного виробництва. Гіпотезою дослідження є те, що розроблені рекомендації щодо застосування промислових роботів та їх експлуатації підвищать ефективність та безпеку металургійного виробництва. Аналіз металургійного

виробництва, технологічних процесів, робочих операцій, умов праці та їх недоліків дає змогу виявити проблемні моменти в металургійному виробництві та запропонувати його вдосконалення й модернізацію. Дослідження проведено на основі комплексу необхідних методів, насамперед методу системного аналізу, структурно-функціонального методу та методу порівняння. Дослідження проводили на універсальному пристрої. Для автоматизованого проєктування та симуляції використано персональний комп'ютер. Для побудови схем промислових роботів металургійного виробництва використовувалась система автоматизованого проєктування Autodesk AutoCAD 2024.

У металургійній промисловості заміна ручних операцій промисловими роботами має значні переваги.

Роботи можуть замінити людей на трудомістких роботах металургійного виробництва. Під час виконання повторюваних та трудомістких операцій використання роботів може значно зменшити інтенсивність професійних захворювань та уникнути травм, спричинених повторюваною роботою. Наприклад, безпілотне водіння, видалення шлаку з ковша, підрахунок прутків, маркування готової продукції.

Роботи замінюють людей на роботах з високим професійним ризиком та важкими робочими умовами. Це операції у металургійній промисловості, які мають токсичні та шкідливі гази та високу температуру такі як вимірювання температури та відбір проб, зварювання, розпилення. Для деяких заплених та важких операцій у металургійній промисловості роботи використовуються на таких операціях, як змішування, укладання та регенерація, а також прибирання цехів на заводах із виробництва сировини, палива та допоміжних матеріалів. Використання роботів для заміни ручних операцій може захистити працівників від небезпечного середовища, а також покращити стандарти роботи та ефективність праці.

Для стандартних операцій, таких як перевірка якості, вимірювання температури та перевірка зразків, робототехнічні операції можуть уникнути неправильних суджень, хибних суджень і неточних вимірювань, спричинених людськими помилками, що сприяє реалізації стандартизованих операцій.

Можна здійснити оцифрування та інформатизацію традиційного виробництва за допомогою промислових роботів, а також використовувати комунікаційні можливості роботів для реалізації потоку даних, що значно покращує

своєчасність та точність передачі інформації на виробничих лініях.

Промисловий робот може бути використаний для відбору проб металевих концентратів на транспортних засобах. Це вирішує проблему низької ефективності, великих похибок і багатьох суперечок під час ручного відбору проб вагонів і поїздів. Перевагами застосування такого робота є безперервна цілодобова робота, що повністю замінює ручну роботу; інтелектуальне судження, відбір зразків за міжнародним чи державним стандартом, автоматична підготовка зразків, без нагляду; невелика площа та простий монтаж. Промисловий робот може входити в робототехнічну систему, яка містить робочий орган, руку для відбору проб, фотоелектричний датчик, ультразвуковий датчик, контролер, вбудоване програмне забезпечення для інтелектуального керування, машини для пакування зразків та основного кронштейна сталеві конструкції системи.

Система пробовідбірника матеріалу може використовувати 6-осьовий промисловий робот, а також 14-метрову (відповідно до вимог місця) напрямну для формування 7-осьового режиму руху. Напрямна рейка робота може встановлюватися вздовж руху каретки. Висота прямої рейки переважно така ж, як і висота каретки, тому вибірку можна проводити в будь-якому місці каретки (рис. 1).

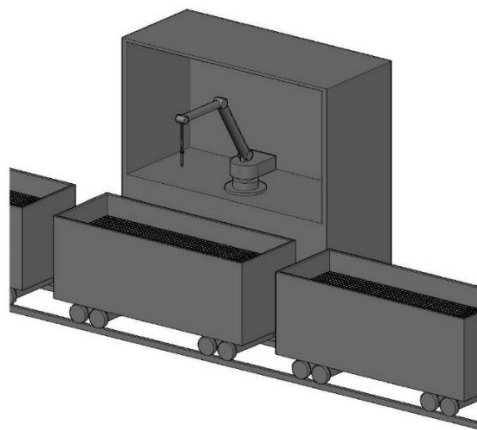


Рис. 1. Робот пробовідбірника сировинного матеріалу в металургійній галузі

Робототехнічна система автоматично може визначати місце розташування вагона, і користувачі можуть встановлювати правила відбору проб, наприклад кількість точок відбору проб у вагоні. Він має функцію автоматичного очищення головки для відбору проб, щоб запобігти прилипанню матеріалу та перехресному забрудненню.

Вимірювання температури та відбір проб є важливою ланкою в процесі виробництва сталі, але нині на сталеливарних заводах все ще здійснюється вручну. Актуальність застосування промислового робота для вимірювання температури та відбору проб зумовлена тим, що робоче середовище має високі температури та запылення; виникають опіки від бризок сталевих шлаку під час ручного вимірювання; відбувається нестабільний результат вимірювання та може виникати аварія на металургійному виробництві.

Оператор стоїть перед електричною піччю з 10-кілограмовим пістолетом для вимірювання температури та вставляє його у сталеплавильну піч із температурою 1500 градусів за Цельсієм для вимірювання температури та відбору проб [8].

Перевагами робота для вимірювання температури розплавленого металу є гнучкість і зручність, економія часу, поліпшення робочого середовища та зменшення дублювання праці, уникнення людського втручання, підвищення ефективності і точності вимірювання температури та відбору проб (рис. 2).

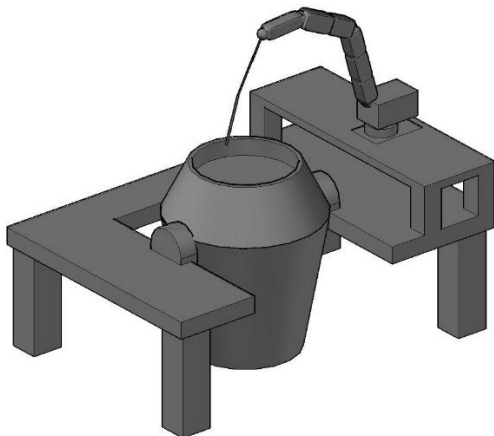


Рис. 2. Робот для вимірювання температури та відбору проб розплавленого металу

Традиційне видалення шлаку ґрунтується на ручному спостереженні та контролі за операціями пов'язаного обладнання й покладається на ручний досвід для визначення та контролю шлаку та глибини видалення шлаку [9]. Це може призвести до тривалого виробництва, серйозних втрат заліза, надмірного або недостатнього видалення шлаку та відсутності стандарту щодо залишків заліза в ковші. Щоб допомогти промисловості вирішити ці проблеми, можна застосовувати роботизовану систему видалення шлаку (рис. 3). Роботизована система видалення шлаку є комплексною системою,

заснованою на інтелектуальних машинах для видалення шлаку, інтелектуальному аналізі, глибокому самонавчанні, нейронних мережах та інтелектуальному управлінні, а також може реалізувати дистанційне видалення шлаку, дистанційну роботу та обслуговування. За допомогою функції оцінки поверхні шлаку роботизована система видалення шлаку сама може керувати машиною для видалення шлаку, щоб вона рухалася відповідно до заданого шляху для реалізації автоматичного видалення шлаку. Це важливий продукт для інтелектуального виробництва та управління процесом у сталеливарній промисловості.

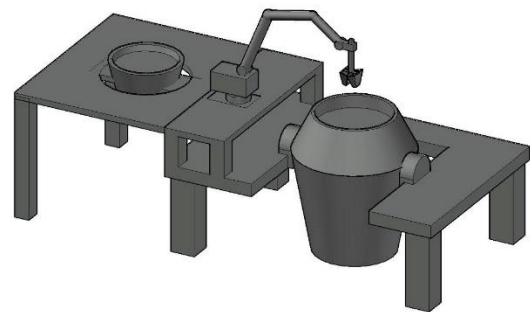


Рис. 3. Роботизована система видалення шлаку

Скребок для шлаку може мати підйом руки, опускання руки, обертання ліворуч, обертання праворуч, а також рухи підйому та скорочення руки скребка шлаку. Кожна дія оснащена датчиком зворотного зв'язку за положенням. Усі елементи керування скребком шлаку можуть працювати у замкнутому режимі. Цей метод керування може не тільки забезпечити безперебійну та надійну роботу обладнання, але й забезпечити точність позиціонування та відповідати вимогам системи. З протилежного боку телескопічного гідромотора на валу активної зірочки може бути встановлений безконтактний енкадер. Реєстрацією кількості обертів валу зірочки під час руху досягається мета вимірювання телескопічної відстані для забезпечення безпеки та надійності основного телескопічного руху.

Зовні масляного циліндра може бути встановлений датчик тягового шнура, який визначає хід розширення та стиснення масляного циліндра відповідно до довжини переміщення тягового шнура, а потім перетворює його на кут нахилу для досягнення мети керування кроком. Перегородка може бути використана для захисту шнура кодера від пилу. Можливе встановлення тросового енкадера на плече скребка шлаку. Різні кути повороту плеча

призведуть до різного переміщення мотузки. Роботизована система може обчислювати кут повороту скребка шлаку шляхом перетворення відстані для досягнення точного керування. На одній стороні масляного циліндра може бути встановлений канатний кодер, який піднімає весь скребок шлаку. Коли масляний циліндр працює, тросовий кодер матиме відповідне зміщення для вимірювання висоти підйому масляного циліндра.

Наявний спосіб змащування колеса спікального візка полягає в ручному очищенні, обслуговуванні та заповненні підшипникового вузла мастилом, коли спікальний візок зупинений [10].

Однак за допомогою цього методу пил, такий як залізний порошок і залізні ошурки, що утворюються під час процесу трансмісії спікального візка, а також суха речовина, що утворюється в результаті змішування пилу та пилу з мастилом за умов високої температури, може викликати протікання мастила під час процесу впрскування мастила. Якщо мастило для колеса не потрапить в отвір у підшипниковий вузол, це призведе не лише до того, що підшипниковий вузол буде недостатньо змащений, але й до зношування осі колеса.

Коли колісна система візка для спікання зношується в гарячому робочому середовищі, це, швидше за все, спричинить деформацію компонентів колеса візка для спікання, прискорить процес зношування осі колеса та зрештою призведе до блокування колеса, а вісь колеса необхідно буде замінити.

Крім того, оскільки вісь колеса та втулка осі мають посадку з натягом, а втулка осі приварена до корпусу візка, зазвичай необхідно підняти весь візок для спікання з колії, щоб замінити на новий візок, що робить процес із заміни колісної осі трудомістким та довгим.

Водночас через посадку з натягом між віссю колеса і втулкою руйнівний силовий демонтаж зазвичай використовується в процесі заміни зношеної вісі колеса. Сильне розбирання призведе не тільки до подальшого пошкодження осі колеса, але й до пошкодження втулки осі, що, у свою чергу, збільшить витрати на ремонт колісних осей.

Тому необхідно застосовувати роботизовану систему очищення та змащування коліс візка для спікання, яка може завершити автоматичне очищення та автоматичне змащування системи коліс візка для спікання, не змінюючи наявну конструкцію колеса візка для спікання, щоб запобігти нагріванню та запиленню візка для спікання (рис. 4).

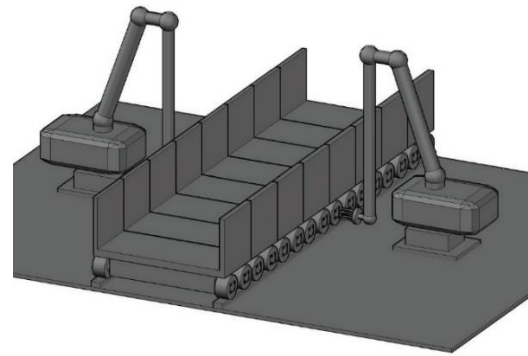


Рис. 4. Система очищення та змащування коліс візка для спікання

Дифузне робоче середовище спричиняє зношування колісної системи візка для спікання, де вартість модифікації обладнання низька, а гнучкість застосування обладнання та налагодження висока. Перевагами експлуатації такої роботизованої системи є те, що онлайн-заправка не впливає на роботу оригінальної системи на місці та може адаптуватися до змін швидкості в реальному часі на місці. Автоматично очищає маслозаливний отвір, ефективно запобігаючи та зменшуючи потрапляння пилу, такого як залізний порошок і залізна стружка, а також сухої речовини, утвореною сумішшю пилу та мастила, від прилипання до маслозаливного отвору та потрапляння на вісь колеса і компоненти підшипника через отвір для заливки масла, що спричиняє зношування. Положення заправного отвору визначається візуально, а зміщення заправної головки автоматично калібрується; конструкція є компактною, рух – гнучким, зручним і практичним, і він здатний до онлайн-автоматичної заправки та змащування коліс візка для спікання. Може використовувати невелику кількість мастила кілька разів, щоб запобігти надмірному розливу масла. За відсутності мастила в колесі, заправкою та станом засмічення можна судити за потоком і тиском оливи, а також можна видавати відповідні попередження. Під час заправки можна додати маслоприймальну камеру до заправного сопла, щоб переконатися, що колеса на місці є чистими. Кожне колесо позначено QR-кодом для забезпечення моніторингу в режимі реального часу стану всього колеса візка та запису життєвого циклу колеса. Якщо необхідно замінити колесо або візок, відповідне колесо можна ввести в систему за допомогою додаткового методу, щоб забезпечити унікальність ідентифікації колеса. Можна додати виявлення дефектів коліс і деформації підшипників. Роботизована

система може зберігати записи про заправку кожного колеса та статус колеса, а також відстежувати вихідні дані. Можна додати теплову інфрачервону камеру для моніторингу температури коліс у режимі реального часу та спостерігати за аномальними змінами в колесах візка.

Високотемпературний лазерний маркувальний робот може застосовуватися на лінії виробництва прокату. Його можна розташувати наприкінці ланцюгового конвеєра, він може виконувати онлайн-лазерне маркування на торці прокату. Роботизована система може включати систему розпилення, систему розпізнавання символів, електронне керування тощо (рис. 5).

Спеціальна жаростійка фарба рівномірно і безперервно подається в трубопровід пістолета-розпилювача пневматичним мембранним насосом, а потім пістолетом-розпилювачем керує робот для розпилення ґрунтовки на торцеву поверхню.

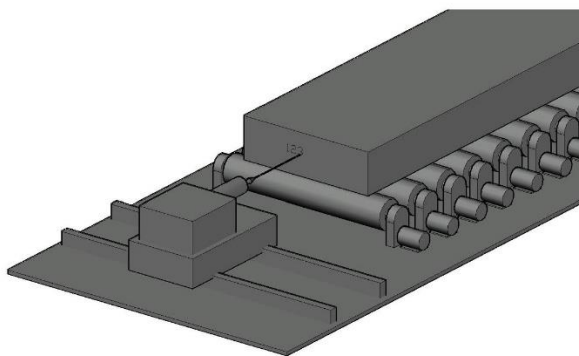


Рис. 5. Високотемпературний лазерний маркувальний робот

Роботизована система може розпізнавати центр і відстань до торця та направляє робота для виконання лазерного плавлення. Променевий розпилювальний друк з подальшим фотографуванням торця лазерного напилення дає змогу ідентифікувати символи для архівування.

Технічний прогрес не стоїть на місці, поступово з'являються нові технології та інновації, які застосовуються в різних сферах життя, в тому числі на промислових виробництвах.

В ході дослідження були проаналізовані шкідливі і небезпечні умови праці та стандартні операції, які виконуються людьми, такі як вимірювання температури та відбір проб перед сталеплавильною піччю, видалення ливарного шлаку, перевірка та відбір проб, розпилення номерів заготовок, розпилювальний друк сталевих рулонів, об'єднання, роз'єднання, маркування. Визначені роботи, виконання яких можливо роботизувати, замінивши ручну працю промисловими роботами на металургійних підприємствах. Запропоновані промислові роботи, а саме робот пробовідбірника сировинного матеріалу в металургійній галузі, робот для вимірювання температури та відбору проб розплавленого металу, роботизована система видалення шлаку, система очищення та змащування коліс візка для спікання, високотемпературний лазерний маркувальний робот, для заміни ручної праці на шкідливих та небезпечних ділянках виробництва, представлені рекомендації з використання запропонованих промислових роботів на металургійних підприємствах.

Проаналізовано та визначено, що використання промислових роботів дасть змогу значно зменшити інтенсивність професійних захворювань та уникнути травм на виробництві. Це дасть можливість захистити працівників від небезпечного середовища, покращити стандарти роботи та ефективність праці.

Під час застосування промислових роботів виключаються помилки з неточними вимірюваннями, присутні людському фактору. Вони швидко оцифровують і подають інформацію традиційного виробництва за допомогою комунікаційних можливостей роботів, що значно покращує своєчасність та точність передачі інформації на виробничих лініях.

Промислові роботи моніторять обладнання в режимі реального часу, що зменшує додаткові витрати на ремонти, а також зменшує кількість аварійних зупинок обладнання.

Проведений аналіз дав змогу визначити переваги експлуатації промислових роботів на металургійних заводах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Матухно О.В., Шматков Г.Г., Бєлоконь К.В., Сибір А.В. Дослідження екологічної безпеки металургійного виробництва методом оцінки життєвого циклу. *Екологічні науки*. 2020. Т. 1. № 2. С. 32–37.
2. Бабаченко О.І., Тубольцев Л.Г., Меркулов О.Є., Левченко Г.В. Науково-технічне забезпечення концепції сталого розвитку чорної металургії України. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2022. Т. 36. С. 4–20.
3. Нестеров А.С., Чайка А.Л., Гармаш Л.І. Відділ металургії чавуну Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України. Історія та сучасність. *Метал і лиття України*. 2019. Т. 314–316. № 7–9. С. 94–108.
4. Євтушенко Н.С., Пономаренко О.І., Твердохлебова Н.Є., Мезенцева І.О., Семенов Є.О., Євтушенко С.Д. Забезпечення безпечних умов праці для профілактики професійних захворювань працівників металургійного і ливарного виробництва. *Метал та лиття України*. 2022. Т. 30, № 3. С. 117–125.

5. Овчиннікова В.О., Дьяков М.І. Особливості інноваційної трансформації підприємств в умовах роботизації. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2022. № 80. С. 49–59.
6. Дорошенко В.С., Янченко О.Б. Підвищення ресурсоефективності ливарного виробництва за рахунок комплектації роботами конвеєрних та роторно-конвеєрних ліній. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2020. Т. 27. № 2. С. 179–186.
7. Pauliková A., Gyurák Babel'ová Z., Ubárová M. Analysis of the Impact of Human–Cobot Collaborative Manufacturing Implementation on the Occupational Health and Safety and the Quality Requirements. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Т. 18. № 4. С. 19–27.
8. Georgiev G., Todorov N., Grancharova A. Use of KUKA KR300 Industrial Robot in Electric Arc Furnace Operation. *2023 International Conference Automatics and Informatics (ICAI)*, Varna, Bulgaria, 5–7 жовтня 2023 року. 2023.
9. Тогобицька Д.М., Белькова А.І., Степаненко Д.О., Поворотня І.Р., Греков С.В. Методика оцінки фізико-хімічної взаємодії в системі «метал-шлак» як кооперативного іонообмінного процесу під час рафінування сталі. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2023. Т. 37. С. 271–286.
10. Anishchenko O.S., Takhtamysh I.V., Tarasiuk L.I. Вдосконалення конструкцій роликів вузлів спікальних та випалювальних візків. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2020. № 40. С. 104–113.

REFERENCES:

1. Matukhno, O.V., Shmatkov, G.G., Belokon, K.V., & Sybir, A.V. (2020). Doslidzhennia ekolohichnoi bezpeky metalurhiinoho vyrobnytstva metodom otsinky zhyttievoho tsykladu [Study of the environmental safety of metallurgical production by the life cycle assessment method]. *Ecological Sciences*, 1 (2), 32–37. [in Ukrainian]
2. Babachenko, O.I., Tuboltsev, L.G., Merkulov, O.Y., & Levchenko, G.V. (2022). Naukovo-tekhniche zabezpechennia kontseptsii staloho rozvytku chornoj metalurhii Ukrainy [Scientific and technical support of the Concept of sustainable development of black metallurgy of Ukraine]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 36, 4–20. [in Ukrainian]
3. Nesterov, A.S., Chaika, A.L., & Garmash, L.I. (2019). Viddil metalurhii chavunu Instytutu chornoj metalurhii im. Z.I. Nekrasova NAN Ukrainy. Istorii ta suchasnist [Department of Cast Iron Metallurgy of Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine. History and Modernity]. *Metal and Casting of Ukraine*, 314–316 (7–9), 94–108. [in Ukrainian]
4. Yevtushenko, N.S., Ponomarenko, O.I., Tverdokhliebova, N.Y., Mezentseva, I.O., Semenov, Y.O., & Yevtushenko, S.D. (2022). Zabezpechennia bezpechnykh umov pratsi dlia profilaktyky profesiinykh zakhvoriuvan pratsivnykiv metalurhiinoho i lyvarnoho vyrobnytstva [Ensuring safe working conditions for the prevention of occupational diseases of workers in the metallurgical and foundry industries]. *Metal and Casting of Ukraine*, 30 (3), 117–125. [in Ukrainian]
5. Ovchynnikova V.O., Dyakov M.I. (2022). Osoblyvosti innovatsiinoi transformatsii pidprijemstv v umovakh robotyzatsii [Features of the innovative transformation of enterprises under the conditions of robotization]. *The Bulletin of Transport and Industry Economics*, (80), 49–59. [in Ukrainian]
6. Doroshenko, V.S., & Yanchenko, O.B. (2020). Pidvyshchennia resursoefektyvnosti lyvarnoho vyrobnytstva za rakhunok komplektatsii robotamy konveiernykh ta rotorno-konveiernykh liniy [Improving the resource efficiency of foundry due to the assembly of conveyor and rotor-conveyor lines by robots]. *Modern technology, materials and design in construction*, 27 (2), 179–186. [in Ukrainian]
7. Pauliková, A., Gyurák Babel'ová, Z., & Ubárová, M. (2021). Analysis of the Impact of Human-Cobot Collaborative Manufacturing Implementation on the Occupational Health and Safety and the Quality Requirements. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (4), 19–27.
8. Georgiev, G., Todorov, N., & Grancharova, A. (2023). Use of KUKA KR300 Industrial Robot in Electric Arc Furnace Operation. *2023 International Conference Automatics and Informatics (ICAI)*. IEEE.
9. Togobitskaya, D.M., Belkova, A.I., Stepanenko, D.O., Povortnia, I.R., & Grekov, S.V. (2023). Metodyka otsinky fizyko-khimichnoi vzaiemodii v systemi "metal-shlak" yak kooperatyvnoho ionoobminnoho protsesu pid chas rafinuvannia stali [Method for assessing physical-chemical interaction in the metal-slag system as a cooperative ion-exchange process in steel refining]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 37, 271–286. [in Ukrainian]
10. Anishchenko, O.S., Takhtamysh, I.V., & Tarasiuk, L.I. (2020). Improvement of roller assemblies' designs of pellet and roasting carriages [Vdoskonalennia konstrukttsii rolykovykh vuzliv spikalnykh ta vypaliuvalnykh vizkiv]. *Reporter of the Priazovskyi state technical university. Section: Technical sciences*, (40), 104–113. [in Ukrainian]