

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОСТІ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗА РАХУНОК КОМПЛЕКТАЦІЇ РОБОТАМИ КОНВЕЄРНИХ ТА РОТОРНО-КОНВЕЄРНИХ ЛІНІЙ

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України
²Вінницький національний технічний університет

У плані дослідницької роботи «Наукові та технологічні основи створення енергоефективних ливарних процесів, захисту довкілля під час виробництві литих конструкцій із залізобетонних та кольорових сплавів» проведено огляд тенденції розширення застосування роботів та робототехнічних конвеєрних ліній у ливарному виробництві. Багато ливарних заводів вкладають кошти у технологію, автоматизацію та скорочують споживання ресурсів на постійній основі. Приведений ряд прикладів роботизації ливарних ділянок. Роботи недалеко майбутнього дозволять замінити людину у більшості основних та допоміжних операціях виробничого циклу, що сприятиме завершенню комплексної автоматизації технологічних процесів у різних галузях промисловості, зокрема у ливарно-металургійній галузі з властивими їй ряду небезпечних та шкідливих виробничих умов праці у гарячих цехах.

Ключові слова: автоматизація, енергоефективність, робот, роботизована ділянка, ливарна операція, цехи, роторно-конвеєрний модуль.

Вступ

Ливарне виробництво служить один з кращих прикладів ресурсоефективності, оскільки після закінчення «життєвого» циклу деталі, її переплавляють у виливки для виробництва нових деталей, щорічно споживаючи мільйони тонн металобрухту. Крім того, сучасні системи дозволяють регенерувати до 95% піщаної суміші для виробництва разових ливарних форм, сприяючи захисту довкілля, та підвищенню ресурсоефективності.

Багато ливарних заводів вкладають кошти у технологію, автоматизацію та енергоефективність, скорочуючи споживання ресурсів на постійній основі. Серед особливостей сьогоденного процесу і рушійною силою є оцифрування під час проектування виробництва, за рахунок моделювання, включаючи 3d-печать, які дозволяють не лише лити дуже складні деталі, але і замінити енерго-, ресурсо- та трудомісткі методи виготовлення виливок, що підвищує не лише конкурентні позиції ливарних цехів, але і дозволяє не тільки лити дуже складні деталі, а й дозволяє реалізацію стійких стратегій розвідку сучасного виробництва[1]. На сьогоднішній день одним з напрямків розвідку виробництва та підвищення енергоефективності є автоматизації та роботизація процесів отримання виливків [2].

Результати дослідження

Дослідницька робота «Наукові та технологічні основи створення енергоефективних ливарних процесів, захисту навколишнього середовища під час виробництві литих конструкцій з залізобетонних, кольорових сплавів», в якій були розроблені концепції ливарних роторно-конвеєрних комплексів (РКК), проведено огляд тенденції розширення застосування роботів та робототехнічних конвеєрних ліній [2] у ливарному виробництві, та визначені шляхи розвитку.

На сьогоднішній день робот являє собою автоматичну машину для відтворення рухових та інтелектуальних функцій людини. Маніпуляційний робот для виконання робіт універсального характеру має виконавчі пристрої – маніпулятори (механічні руки).

Серед різних видів роботів самими затребуваними є автоматичні маніпуляційні роботи, зокрема, промислові роботи. На сьогоднішній день промислові роботи і подібне їм обладнання є практично єдиним засобом автоматизації дрібносерійного виробництва з поєднанням в єдиному циклі як транспортних, так і основних технологічних операцій, що дозволяє створити на базі універсального обладнання гнучкі автоматизовані виробництва.

Рисунок 1 – Приклад м'якої руки робота (<https://www.therobotreport.com/97810-2/>)

У той же час роботи мають значний потенціал для автоматичної перестановки (вантажно-розвантажувальних операцій) матеріалів та продукції з ротора на ротор у системі РКК.

Вдосконалюють роботи по 6-ти напрямках [3]:

- 1) потужні роботизовані руки (є приклади вантажопідйомністю 2,3 т);
- 2) мобільні коботи - роботи, які працюють разом з людьми;
- 3) датчики для гігантських роботів для більшої безпеки людей;
- 4) зростання числа роботів для роботи в небезпечній (в т.ч. «гарячої») середовищі, до якої відносяться умови роботи в ливарних цехах;
- 5) «м'які» роботи (див. Приклад на рис. 1);
- 6) роботизовані екзоскелети, що носяться людьми.

Кінематичну схему робота у кутовій системі координат [4] показано на рис. 2, а блок-схему управління роботом фірми Kuka - на рис. 3.

Роботизована ділянка нанесення шарів рідких та сипучих компонентів під час виготовлення піщаної оболонки по виплавлених моделях компанії Vulcan Engineering Co. показаний на рис. 4 [5].

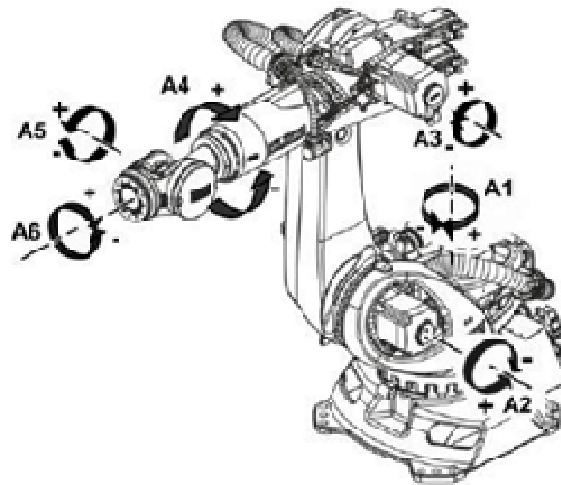


Рисунок 2 – Кінематична схема робота в кутовій системі координат

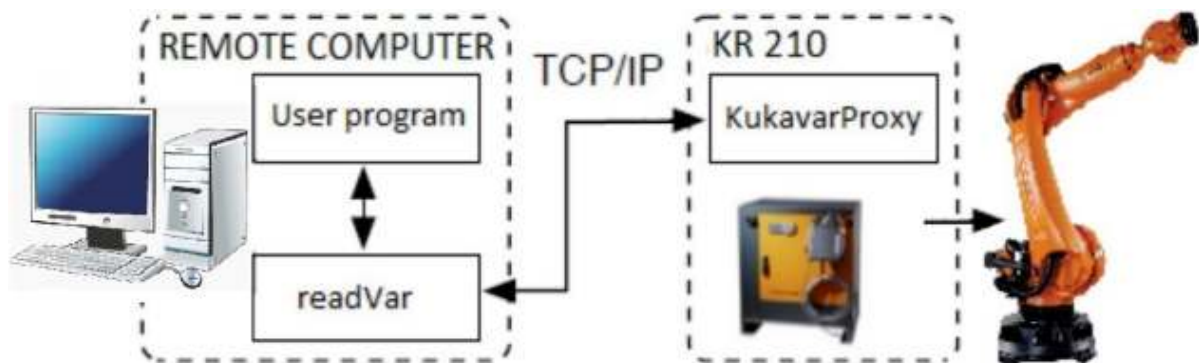


Рисунок 3 – Блок-схема управління роботом



Рисунок 4 – Роботизована ділянка виготовлення піщаних оболонок по виплавлюваних моделях

Приклади застосування роботів на ливарних ділянках показані на рис. 5, ілюстрації взяті з відкритих джерел Інтернету. На рис. 5 а на ділянці лиття по виплавлюваних моделях (lost wax / investment casting process) на задньому плані за маніпулятором фірми АВВ видно поворотний барабан (корпус білого кольору) для нанесення сухого компонента на модельні опоки (кластери) шляхом обертання роботом модельних опок у порожнині барабана, а зліва видно два (нижній і верхній) конвеєри сушки, на яких роботом підвішені модельні опоки для сушки [6]. Технологія лиття по моделях, що газифікуються (ЛГМ) з використанням робота (рис. 5 г) докладніше описана у роботі [7].



а



б



в



г



д

Рисунок 5 – Приклади застосування роботів на ливарних ділянках: а – нанесення рідкого покриття на розові моделі; б – обертання модельних опок, щоб уникнути підтікання; в – заливка металом керамічних оболонкових форм; г – заливка форм по ЛГМ-процесу; д – видалення задирок на виливках

Термічна піч з обертовим подом компанії CAN-ENG Furnaces International Limited, США (<http://www.can-eng.com>) і завантаження роботом такої печі виливками у 3 ряди показані на рис. 6. Хоча застосування таких трьохрядних печей описано на сайті цієї компанії для термообробки ливарних алюмінієвих сплавів зазвичай з нагріванням не вище 500...550 °С, такі печі практично придатні і для ізотермічної витримки виливків з залізвуглецевих сплавів у межах температур 350...450 °С. Для цієї мети термічна піч з обертовим подом як роторно-конвеєрний модуль показана у схемі комплектації з ливарним РКК у роботі [8].



Рисунок 6 – Термічна піч з обертовим подом та завантаженням роботом такої печі виливками у 3 ряда

Сучасні ливарні заводи постійно шукають способи підвищення ефективності, гнучкості та безпеки на робочому місці під час створенні енергоефективних ливарних процесів з урахуванням захисту навколишнього середовища. Використання роботів у цих цілях значно спрощує досягнення необхідної продуктивності в галузі для підтримки конкурентної переваги [9]. Зростання ринку роботів для лиття металу багато в чому залежить від зростання автоматизації із застосуванням роботів, яка допомагає оптимізувати продуктивність ливарно-металургійного виробництва.

Підвищення корисного навантаження на роботів для ливарних операцій, що полегшить оптимізацію часу циклу в порівнянні з традиційним методом лиття, є основною рушійною силою зростання ринку ливарних роботів.

Прогрес в області технологічних інновацій, спрямованих на скорочення часу інтеграції робота у процес лиття та розширення можливостей застосування, також є одним з ключових факторів, який стимулює попит на такі роботи. Крім того, очікується, що роботизація таких функцій (пов'язаних з підвищеною температурою, газовиділенням та іншим шкідливими впливами), як, наприклад, дегазації розплаву, а також видалення шлаку, заливка розплавленого алюмінію та інших сплавів у ливарні форми, вилучення та вибивка виливків, також збільшать попит на роботи у ливарних цехах в найближчі роки [9].

Незважаючи на багато рушійні фактори, розвиток ринку роботів для лиття гальмується тим, що відкриті приводи роботів важко приховати від пилу та рідин. Це служить стримуючим фактором для зростання використання роботів для лиття металу. Хоча зниження виробничих витрат та рівня браку, постійне збільшення тривалості експлуатації, а також висока якість – це лише деякі з переконливих переваг роботів, і очікується, що вони стануть ключовими аргументами для зростання ринку ливарних роботів [9].

Впровадження роботів стимулює створення ливарних процесів з установкою на них датчиків контролю рівня показників, які стосуються захисту навколишнього середовища, для ефективної експлуатації роботів і запобігання порушень вимоги охорони праці працюючих поруч людей.

Залежно від типу виливки ринок ливарних роботів зазвичай поділяють на чотири категорії: лиття у піщані форми, лиття під тиском, гравітаційне лиття та ЛГМ-процес. А, ґрунтуючись на галузі кінцевого використання, ринок роботів ділять на п'ять сегментів відповідно до виду промисловості: автомобільна, металургійна, напівпровідникова, телекомунікаційна, аерокосмічна та оборонна [9]. Значне збільшення витрат на впровадження роботів для лиття металу в таких країнах, як Китай, Японія та Індія, стимулює розвиток ринку.

Розглянемо приклади новітніх технічних рішень, які уособлюють симбіоз людей і роботів, як це показано на прикладах з роботами Kuka та ABB (рис. 7) [10]. Термін «кобот» походить від поєднання англійських слів «співпраця» та «робот», а також описує роботів, призначених для прямої взаємодії з людьми. Якщо люди і роботи використовують загальний робочий простір без розділового захисного пристрою, це також називається взаємодією людина-робот (MRK).



Рисунок 7 – Приклади коботів Kuka та ABB

Спільна робототехніка також відкрила нові можливості для автоматизації виробництва у таких процесах, як збірка, упаковка та укладання продукції на піддони. У ливарному виробництві початок такого застосування найбільш вигідно для операцій точного, крупносерійного та масового лиття. В ідеалі, у спільних роботизованих додатках повинні поєднуватися переваги людини (гнучкість, суб'єктивність рішення, креативність, досвід, інтуїція і огляд) та переваги робота (автоматичність, точність і сила).

Як забезпечується спільна робота з коботами? Наскільки тісно люди та коботи дійсно можуть працювати разом у роботизованих операціях без захисту, залежить від додатків, ряд з яких для співіснування або співпраці були відомі ще до створення робототехніки [10].

Людина зазвичай була захищена за допомогою таких рішень, як світлові бар'єри. Крім того, функції безпеки контролери роботів часто використовуються, такі як це запобігання входу робота у заборонені зони, зони де працюють люди. Якщо люди і роботи діють у цих зонах окремо, то функції співіснування або співпраці можуть також використовувати, як зі звичайними промисловими роботами.

Однак у спільних сценаріях традиційні рішення для забезпечення безпеки людини вже не є достатніми – необхідно відстежувати, обмежувати сили, швидкості та відстані переміщення роботів, а при необхідності зупиняти роботів. На сьогоднішній день у промисловості, щоб повністю уникнути контакту між людиною і машиною, використовуються лазерні сканери, або навіть такі методи, як ультразвук та радар. Крім того, існують такі підходи, як захисні оболонки, оснащені смісними датчиками, які вже виявляють близький підхід людей.

Якщо взаємодії не можна повністю уникнути, то, по крайній мірі, обмежують силу та тиск, з якими робот може впливати на людину. Поширеними засобами для цього є датчики моменту сили у пристроях кобота, які обмежують його під час перевищенні значень сили і тиску у спільній роботі, а також використовуються спеціальні захисні рукави, які реагують за допомогою датчиків на дотик та тиск.

Важливим стандартом в цьому контексті є стандарт ISO TS 15066, який регулює спільну роботу людини і робота. ISO TS 15066 доповнює загальний стандарт EN ISO 10218 та розрізняє чотири типи спільної роботи (рис. 8) [10]:

1. Контрольована зупинка, пов'язана з безпекою: співпрацює робот зупиняється, коли людина входить у загальний робочий простір, і продовжує рух, коли людина залишає це робочий простір.
2. Ручне управління: рух робота активно контролюється людиною за допомогою відповідних датчиків, зазвичай підтримуваних пристроєм «схвалення», таким, як триточковий перемикач.
3. Контроль швидкості та відстані: машина запобігає контакт між працівником і рухомим роботом. Для цього постійно контролюється відстань між людиною та роботом, наприклад, за

допомогою лазерних сканерів або систем камер. Якщо запропоноване відстань не досягнуто, швидкість робота знижується до безпечної зупинки.

4. Обмеження потужності та сили. Сила контакту між працівником і роботом технічно обмежена безпечним рівнем. ISO / TS 15066 визначає пороги болю для різних областей тіла: в Додатку А ISO / TS 15066 перераховані частини тіла та вказані максимальні значення сили і тиску для кожної частини тіла (наприклад, голови, руки, руки або ноги). Область тіла з найнижчими допустимими значеннями зіткнення визначає загальний межа таких значень.

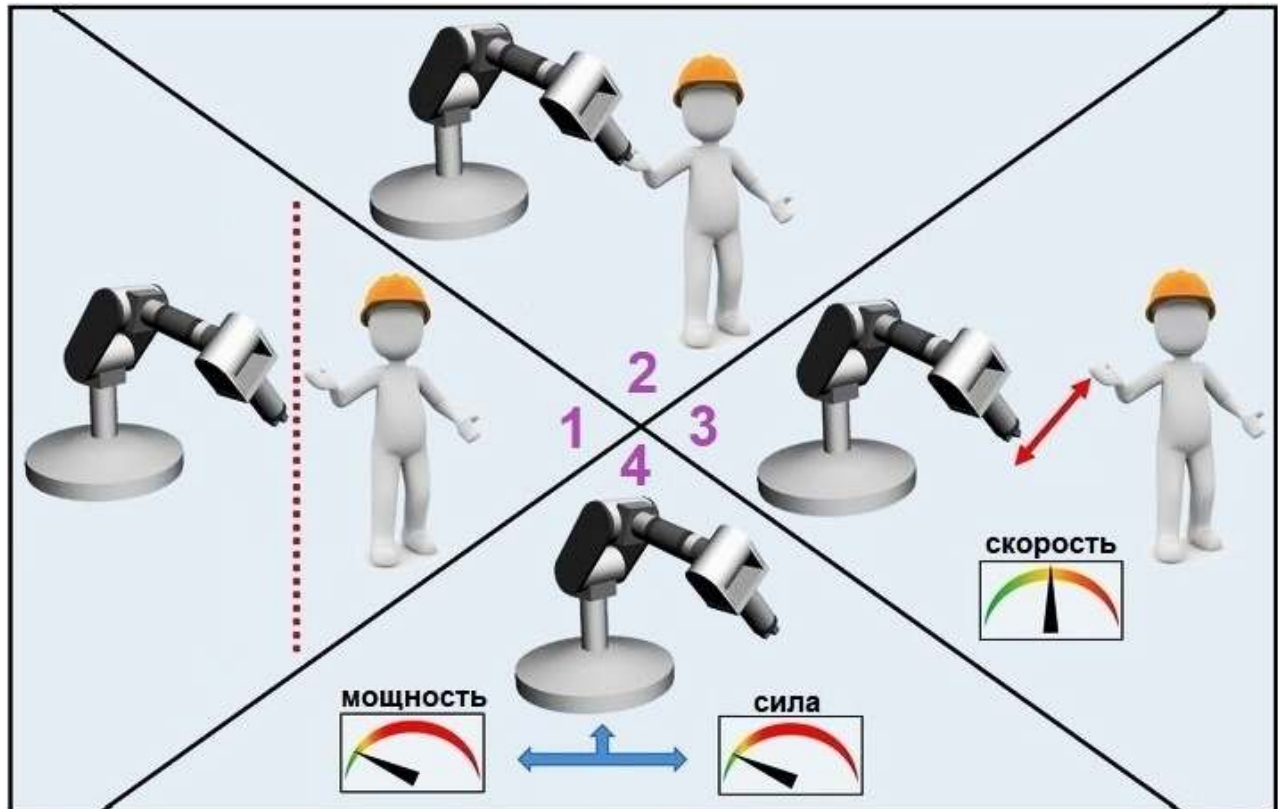


Рисунок 8 – Регулювання використання роботів по стандарту ISO TS 15066 [10]

Висновки

Показані приклади використання роботів у ливарному виробництві. Роботизація операцій, пов'язаних з підвищеною температурою, газовиділенням, а також і іншими шкідливим впливом, як, наприклад, дегазації розплаву та видалення шлаку, заливка розплавленого алюмінію та інших сплавів у ливарні форми, вилучення та вибивка виливків, забезпечує автоматизацію, а також енергоефективність виробництва.

Розглянуто умови та вимоги, які регулюють спільну роботу людини та робота. На думку фахівців в області робототехніки, напрямок наукових досліджень і інженерних розробок повинно бути націлене на створення інтелектуальних роботів, які забезпечать розширення їх функціональних можливостей.

Роботи недалекого майбутнього дозволять замінити людини у більшості основних та допоміжних операціях виробничого циклу, що сприятиме завершенню комплексної автоматизації технологічних процесів у різних галузях промисловості [4], зокрема у металургійній галузі з притаманними їй ряду небезпечних та шкідливих виробничих умов праці у ливарних цехах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Carina Hendricks. Tremendous potential – environmental, economic and social sustainability in foundries // GMTN 2019 – Specialist article no. 6 / January 2019. URL: www.gifa.com.
2. Беляева С. Роторно - и робото-конвейерные линии. Опорный конспект лекций. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2013. 36 с. URL: <https://pandia.ru/text/78/539/90284.php>.

3. Kayla Matthews. 6 Robotics Trends Taking Over Manufacturing // American Machinist. Mar 27, 2019. URL: <https://www.americanmachinist.com/automation-and-robotics>.
4. Иванов А.А. Основы робототехники: учеб. пособие; НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2011. – 200 с.
5. Investment casting systems & equipment. Vulcan Engineering Co. URL: <http://www.vulcangroup.com/products-2/foundry-engineering-systems/>.
6. Shell-O-Matic automates Franklin bronze foundry. URL: <https://www.shellomatic.com/automates-franklin-bronze-foundry/>
7. Дорошенко В.С. Литье по газифицируемым моделям с кристаллизацией металла под давлением // Литейное производство. – 2016. - № 1. - С. 25 - 28.
8. Дорошенко В.С. Концепция роторно-конвейерного комплекса для литья по газифицируемым моделям и термообработки отливок // Металл и литье Украины. - 2019. - № 1-2. - С. 31-40.
9. Metal Casting Robots Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2018 - 2026. URL: <https://www.transparencymarketresearch.com/metal-casting-robots-market.html>
10. Cobot: Symbiose von Mensch und Roboter. Automations praxis, 14.01.2019. URL: <https://automationspraxis.industrie.de/cobot/cobot-symbiose-von-mensch-und-roboter>.

REFERENCES

1. Carina Hendricks. Tremendous potential – environmental, economic and social sustainability in foundries // GMTN 2019 – Specialist article no. 6 / January 2019. URL: www.gifa.com.
2. Belyaeva S. Rotorno - i roboto-konvejernye linii. Opornyj konspekt lekcij. M.: MGTU im. N. E. Baumana. 2013. 36 s. URL: <https://pandia.ru/text/78/539/90284.php>.
3. Kayla Matthews. 6 Robotics Trends Taking Over Manufacturing // American Machinist. Mar 27, 2019. URL: <https://www.americanmachinist.com/automation-and-robotics>.
4. Ivanov A. A. Osnovy robototekhniki: ucheb. posobie; NGTU im. R. E. Alekseeva. Nizhnij Novgorod, 2011. – 200 s.
5. Investment casting systems & equipment. Vulcan Engineering Co. URL: <http://www.vulcangroup.com/products-2/foundry-engineering-systems>.
6. Shell-O-Matic automates Franklin bronze foundry. URL: <https://www.shellomatic.com/automates-franklin-bronze-foundry/>
7. Doroshenko V.S. Lite po gazificiruemym modelyam s kristallizaciej metalla pod davleniem // Litejnoe proizvodstvo. – 2016. - № 1. - S. 25 - 28.
8. Doroshenko V. S. Konceptiya rotorno-konvejernogo kompleksa dlya litya po gazificiruemym modelyam i termoobrabotki otlivok // Metall i lite Ukrainy. - 2019. - № 1-2. - S. 31-40.
9. Metal Casting Robots Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2018 - 2026. URL: <https://www.transparencymarketresearch.com/metal-casting-robots-market.html>.
10. Cobot: Symbiose von Mensch und Roboter. Automations praxis, 14.01.2019. URL: <https://automationspraxis.industrie.de/cobot/cobot-symbiose-von-mensch-und-roboter>.

Дорошенко Володимир Степанович – д-р техн. наук, старший науковий співробітник старший науковий співробітник відділ фізико-хімії ливарних процесів, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України. ORCID:0000-0002-0070-5663 e-mail: dorosh@ptima.kiev.ua.

Янченко Олександр Борисович – к.т.н. старший викладач кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет. ORCID:0000-0002-3888-3772, e-mail: 1961yab@gmail.com.

В. С. Дорошенко¹
А. Б. Янченко²

ПОВЫШЕНЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЗА СЧЕТ КОМПЛЕКТАЦИИ РОБОТАМИ КОНВЕЙЕРНЫХ И РОТОРНО-КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ

¹ Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

² Винницкий национальный технический университет

В плане исследовательской работы «Научные и технологические основы создания энергоэффективных литейных процессов, защиты окружающей среды при производстве литых конструкций из железоуглеродистых и цветных сплавов» провели обзор тенденции расширения применения роботов и робототехнических конвейерных линий в литейном производстве. Многие литейные заводы вкладывают средства в технологию, автоматизацию и сокращают потребление ресурсов на постоянной основе. Приведен ряд примеров роботизации литейных участков. Роботы недалекого будущего позволят заменить человека в большинстве основных и вспомогательных операциях производственного цикла, что будет способствовать завершению комплексной автоматизации технологических процессов в различных отраслях промышленности, в частности в литейно-металлургической отрасли с присущими ей ряда опасных и вредных производственных условий труда в горячих цехах.

Ключевые слова: автоматизация, энергоэффективность, робот, роботизированный участок, литейная операция, цеха вакуумные конвейерный модуль.

Дорошенко Володимир Степанович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, відділ фізико-хімії литейних процесів, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України. ORCID:0000-0002-0070-5663 Email: doro55v@gmail.com.

Янченко Александр Борисович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет. ORCID:0000-0002-3888-3772, Email: 1961yab@gmail.com.

V. Doroshenko¹
O. Yanchenko²

IMPROVING THE RESOURCE EFFICIENCY OF FOUNDRY DUE TO THE ASSEMBLY OF CONVEYOR AND ROTOR- CONVEYOR LINES BY ROBOTS

¹ *Physico-technological institute of metals and alloys National academy of sciences of Ukraine*

² *Vinnytsia National Technical University*

Within the framework of the research work "Scientific and technological bases of creation of energy efficient foundry processes, environmental protection in the production of cast structures from iron-carbon and non-ferrous alloys" the tendency of expansion of the use of robots and robotic conveyor lines in foundry production is considered. Many foundries are continuously investing in technology, automation and resource reduction. A number of examples of robotics in foundries are given. Robots of the nearest future will allow to replace people on the majority of the basic and auxiliary operations of a production cycle that will promote end of complex automation of technological processes in various industries, in particular in foundry-metallurgical branch, with some dangerous and harmful working conditions.

Keywords: automation, energy efficiency, robot, robot, robotic section, foundry operation, vacuum conveyor module workshops.

Doroshenko Volodymyr – doctor of Engineering Sciences, Senior research officer, Department of Physics and Chemistry of Casting Processes, Physico-technological institute of metals and alloys National academy of sciences of Ukraine, email : doro55v@gmail.com.

Yanchenko Oleksandr – Ph.D. Senior Lecturer of Department of branch mechanical engineering, Vinnytsia National Technical University, e-mail 1961yab@gmail.com.