

Порізка заготовки металу дозволила встановити отримання мінімального проплавлення основного металу. Макротвердість наплавленого металу за його товщиною становила 64-65 HRA.

Висновки:

1. Встановлено можливість отримання композитного металу (хромистій чавун + карбід кремнію) за допомогою ЕШЛ у ТПК.
2. Якість формування наплавленого шару та його сплавлення з основним металом по всій наплавленій поверхні визначається розмірами цієї поверхні.
3. Розміри шару, що наплавляється, можуть бути збільшені за рахунок прогріву її центральної частини шляхом введення в шлакову ванну додаткового невитратного електрода, наприклад графітового.
4. Твердість наплавленого металу можна регулювати за рахунок зміни маси частинок карбіду кремнію, що вводиться в наплавну суміш.

Лавренюк А. О.
(ВНТУ, м. Вінниця)

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ РОБОЧИМИ
ОРГАНАМИ СПЕЦАВТОМОБІЛІВ-СМІТТЄВОЗІВ**

E-mail: arsenlavreniuk@gmail.com

Швидке зростання міського населення та збільшення обсягів твердих побутових відходів зумовили необхідність модернізації систем збору та утилізації сміття. Серед критично важливих компонентів цього процесу модернізації є розробка інтелектуальних систем, що забезпечують точну та безпечну роботу механізмів смітєвозів [1]. Програмне забезпечення для керування робочими органами смітєвозів відіграє важливу роль в автоматизації збору відходів, підвищенні операційної ефективності та мінімізації впливу на навколишнє середовище. У цій роботі наведено вичерпний огляд такого програмного забезпечення, враховуючи його структуру, функціональність та технологічну актуальність у контексті сучасних інженерних тенденцій.

Програмне забезпечення для керування робочими органами сміттєвозів є одним із найдинамічніших та технологічно найскладніших сегментів у сфері міської автоматизації та розумної логістики [2]. Це програмне забезпечення відіграє вирішальну роль у забезпеченні ефективного, безпечного та інтелектуального управління механічними та електромеханічними системами, які дозволяють сміттєвозам виконувати свої функції [3]. Результати дослідження, представлені нижче, демонструють поточний стан, тенденції та перспективи цих програмних систем, які розвиваються у відповідь на зростання міст, цифровізацію та вимоги сталого розвитку.

Сучасні програмні платформи для автоматизації сміттєвозів розроблені як вбудовані системи з обмеженнями реального часу. Ці платформи зосереджені навколо промислових мікроконтролерів або SoC-блоків, які повинні обробляти одночасний збір даних датчиків, керування виконавчими механізмами, протоколи безпеки та зв'язок з віддаленими службами [4-6]. Програмне забезпечення відповідає за керування складних послідовностей механічних рухів, включаючи точне підняття, нахил, спорожнення [7], ущільнення [8] та викидання відходів з контейнерів різних типів і розмірів [9]. Це вимагає розробки тісно інтегрованих програмно-апаратних циклів на основі принципів об'єднання датчиків та теорії керування.

Проектування системи починається з ретельного моделювання операційних сценаріїв з використанням середовищ моделювання, таких як MATLAB/Simulink або ANSYS Twin Builder. Кожен робочий орган, такий як підйомники контейнерів, гідравлічні преси [10-12] або механізми задніх дверей, моделюється цифровим способом для оцінки кінематики [13], розподілу навантаження, точок напруження та моделей споживання енергії. На основі цих моделей розробники створюють алгоритми керування, які є не тільки функціонально точними, але й енергоефективними та відповідають стандартам функціональної безпеки, таким як ISO 26262 та IEC 61508. Програмне забезпечення включає кілька режимів роботи, таких як ручне керування, повністю автономне секвенування та напівавтоматичні цикли, залежно від контексту та введення оператора.

Інтеграція датчиків є наріжним каменем цих систем. Датчики тиску забезпечують належну силу ущільнення, не пошкоджуючи механічну раму. Датчики наближення [14] та LiDAR запобігають зіткненням з перешкодами або людьми в робочій зоні вантажівки [15]. Акселерометри допомагають збалансувати динамічні навантаження та покращити маневреність. Камери та системи комп'ютерного зору допомагають у розпізнаванні та вирівнюванні контейнерів, гарантуючи, що піднімаються та спорожняються лише визначені контейнери. Ці потоки даних обробляються локально на модулях периферійних обчислень, за підтримки механізмів штучного інтелекту, де це можливо.

Архітектура програмного забезпечення зазвичай є багаторівневою, з рівнем абстракції апаратного забезпечення (HAL), службами проміжного програмного забезпечення та логікою додатків, що знаходяться зверху. Зв'язок між компонентами відповідає детермінованим протоколам, таким як CANopen, J1939 або Ethernet TSN. Модульність програмного забезпечення дозволяє створювати різні конфігурації на основі моделі вантажівки, специфікацій клієнта або регіональної політики управління відходами. Ця адаптивність є вирішальною при роботі з різноманітними географічними та регуляторними контекстами, від європейських екосистем зі суворим контролем викидів до густонаселених азійських міст з обмеженими маршрутами збору.

Що стосується управління енергією, перехід до гібридних та електричних сміттєвозів вимагав розробки програмного забезпечення, здатного до динамічного бюджетування енергії [16]. Програмне забезпечення координує потік енергії між приводними двигунами, гідравлічними насосами [17-20], системами управління акумуляторами та підсистемами опалення/охолодження. Рекуперативне гальмування ретельно керується, щоб надати пріоритет підзарядці акумулятора без шкоди для ефективності гальмування. Інтелектуальне планування навантаження гарантує, що операції з високою потужністю, такі як ущільнення, відкладаються, якщо заряд акумулятора нижче критичного порогу, тим самим розширюючи робочий діапазон.

Ще однією важливою сферою є функціональна безпека. Програмне забезпечення повинно прогнозовано реагувати на системні несправності, будь то через відмову датчика, деградацію виконавчих механізмів чи втрату зв'язку. Режими безпеки реалізуються на кількох рівнях, а сторожові пристрої безпеки постійно контролюють стан системи. Діагностика в режимі реального часу реєструється та аналізується для виявлення ранніх ознак зносу або відмови. У передових системах під час розробки використовуються аналіз дерева несправностей та моделі небезпек для превентивного усунення потенційних ризиків [21]. Ці підходи узгоджуються з методологіями розробки критично важливих для безпеки систем, що використовуються в авіаційній та автомобільній промисловості.

Основним напрямком досліджень є взаємодія між оператором та системою. Людино-машинні інтерфейси (НМІ) еволюціонували від простих кнопочкових панелей до повністю інтерактивних графічних інтерфейсів з багатомовною підтримкою, сенсорним керуванням та жестовими або голосовими командами. Ці інтерфейси забезпечують не тільки оперативний контроль, але й підтримку навчання, дозволяючи новим операторам імітувати послідовності робочих органів [22] у віртуальному режимі, перш ніж активувати їх на фізичному транспортному засобі. Це зменшує кількість помилок та підвищує впевненість операторів [23, 24].

Програмне забезпечення також сприяє зв'язку в режимі реального часу з центральними серверами або муніципальними базами даних. Телеметричні дані, такі як часові позначки збору, ідентифікація типу відходів, тенденції гідравлічного навантаження [25, 26] та стан технічного обслуговування, завантажуються через захищені мобільні мережі. Дистанційна діагностика та оновлення по бездротовій мережі (ОТА) забезпечуються через захищені завантажувачі та зашифровані канали, що забезпечує цілісність програмної екосистеми транспортного засобу. Інтеграція з муніципальними платформами «Розумного міста» дозволяє оптимізувати маршрут на основі даних про дорожній рух у реальному часі та рівня

заповнення контейнерів, що дозволяє динамічно коригувати маршрут, що підвищує ефективність та зменшує витрату палива.

Адаптивність до навколишнього середовища є ще однією ключовою особливістю. Програмне забезпечення повинно враховувати екстремальні коливання температури, від мінусових зим у Північній Європі до тропічної спеки в Південно-Східній Азії. Алгоритми повинні адаптувати гідравлічні таймінги та обмеження потужності на основі в'язкості рідини, продуктивності акумулятора та механічного розширення/стискання. Деякі системи містять модулі самонавчання, які з часом коригують поведінку системи на основі місцевих кліматичних моделей та градієнтів рельєфу.

Кібербезпека викликає все більше занепокоєння, особливо оскільки сміттєвози стають підключеними вузлами в муніципальних мережах Інтернету речей. Програмне забезпечення повинно захищати від таких загроз, як віддалене захоплення, впровадження шкідливого програмного забезпечення, крадіжка даних або відмова в обслуговуванні. Безпечні методи кодування, тестування на проникнення та моделювання загроз є частиною процесу розробки. Модулі довіреної платформи (TPM) та модулі апаратної безпеки (HSM) все частіше використовуються для захисту прошивки, ключів та процесів завантаження [27, 28].

Однією з проблем є відсутність універсальних стандартів. Хоча існує кілька регіональних або промислових стандартів для систем керування транспортними засобами, немає глобального стандарту, який би спеціально регулював програмне забезпечення для робочих органів сміттєвозів. Це створює труднощі для сумісності та масштабованості. Однак, зусилля зі стандартизації тривають, і робочі групи з ISO, IEEE та галузевих консорціумів прагнуть визначити специфікації для модульних, сумісних програмних платформ.

За цими програмними системами також стоїть сильна екологічна мотивація. Ефективна експлуатація зменшує час простою, непотрібні цикли ущільнення та витрату палива. Розумні маршрути збору зменшують викиди CO₂ та міський шум. Деякі системи можуть аналізувати розподіл типів відходів [29] та співвідносити його з даними GPS для виявлення закономірностей у поведінці громадськості, що

сприяє кращому плануванню політики щодо відходів або освітніх кампаній [30]. Крім того, громадянам можна надавати зворотний зв'язок у режимі реального часу щодо практики переробки через підключені додатки.

Штучний інтелект (ШІ) стає трансформаційною силою в розробці систем керування сміттєвозами. Застосовуючи моделі машинного навчання, навчені на операційних даних, програмне забезпечення може прогнозувати оптимальний час ущільнення, оцінювати рівні заповнення без датчиків та передбачати механічний знос, перш ніж він призведе до відмови. Алгоритми навчання з підкріпленням використовуються для динамічної адаптації послідовностей керування, щоб мінімізувати споживання енергії або скоротити час циклу. ШІ також дозволяє виявляти аномалії: якщо гідравлічний тиск відхиляється від вивченої норми, система може позначити це для перевірки, потенційно запобігаючи простоям або інцидентам безпеки.

Взаємодія з іншими системами міської інфраструктури також набирає обертів. Сучасне програмне забезпечення для керування розробляється з відкритими API та стандартизованими форматами даних (наприклад, JSON, MQTT, OPC-UA), які дозволяють сміттєвозам взаємодіяти з інтелектуальними світлофорами, системами маршрутизації на основі GPS і навіть місцевими мережами моніторингу якості повітря. У деяких сценаріях, якщо в районі спостерігається високий рівень забруднення або затори на дорогах, вантажівка може автоматично змінити маршрут або скоригувати частоту вивезення. Цей рівень інтеграції відображає ширшу тенденцію до інтелектуальних, контекстно-залежних муніципальних послуг.

Рівні автоматизації швидко розвиваються. Хоча більшість сміттєвозів все ще потребують операторів-людей для керування та нагляду, деякі виробники пілтують повністю автономні послідовності робочих органів, коли, як тільки вантажівка досягає зупинки, підтвердженої GPS, вона виконує цикл підйому та ущільнення контейнера без ручного введення. Системи комп'ютерного зору підтверджують ідентифікацію контейнера, а масиви датчиків перевіряють положення контейнера та безпечну відстань. Ці розробки наближають систему до

4-го рівня автономності в певних сценаріях, таких як закриті житлові комплекси або промислові зони.

Також зростає інтерес до роботи в колонах та координації автопарку. У великих міських центрах сміттєвози можуть працювати в синхронізованих формаціях, мінімізуючи перекриття маршрутів та витрату палива. Програмне забезпечення включає можливості для зв'язку між транспортними засобами (V2V), що дозволяє кільком вантажівкам обмінюватися даними про маршрут, станом заповнення контейнерів та графіками технічного обслуговування. Програмне забезпечення для координації автопарку, розміщене в хмарі, динамічно призначає завдання на основі місцезнаходження, трафіку та моніторингу контейнерів у режимі реального часу з контейнерів, підключених до Інтернету речей, по всьому місту.

Кілька міст вже впровадили масштабне розгортання автопарків інтелектуальних сміттєвозів. Наприклад, в Амстердамі вантажівки з покращеним штучним інтелектом спілкуються з інтелектуальними контейнерами та використовують розпізнавання зображень для виявлення несанкціонованих відходів. У Сінгапурі автоматизовані мікровантажівки працюють у пішохідних зонах, використовуючи повністю автономну логіку керування. У Канаді муніципальні автопарки інтегровані в загальноміські аналітичні системи, які контролюють ефективність, безпеку та вплив на навколишнє середовище. Ці впровадження показали вимірні переваги в якості послуг, зниженні витрат та задоволеності громадян.

Нарешті, масштабованість та зручність обслуговування мають вирішальне значення для довгострокового успіху. Модульні архітектури дозволяють муніципалітетам поступово оновлювати компоненти системи — додаючи нові типи датчиків, оновлюючи алгоритми керування або інтегруючи сторонні сервіси — без заміни всієї платформи. Конвеєри безперервної інтеграції/безперервного розгортання (CI/CD) та контроль версій забезпечують плавний розвиток програмного забезпечення та відповідність нормативним вимогам.

Отже, програмне забезпечення для керування робочими органами сміттєвозів є життєво важливим елементом модернізації систем управління міськими

відходами. Воно усуває розрив між машинобудуванням та цифровою автоматизацією, забезпечуючи безпечну, ефективну та інтелектуальну роботу складних машин. Зі зростанням міст та зростанням попиту на екологічну стійкість, це програмне забезпечення ставатиме дедалі важливішим для зниження експлуатаційних витрат, підвищення безпеки та дотримання екологічних норм. Постійний розвиток технологій керування, включаючи машинне навчання та хмарну аналітику, ще більше підвищує потенціал для оптимізації та інновацій у цій галузі. Майбутні розробки можуть також включати інтеграцію з інфраструктурою розумного міста, що дозволить реалізувати ще ефективніші стратегії збору відходів, які відповідають ширшим цілям міського планування.

Література

1. Bereziuk O.V., Lemeshev M.S., Bogachuk V.V. et al. High-precision ultrasonic method for determining the distance between garbage truck and waste bin // *Mechatronic Systems 1: Applications in Transport, Logistics, Diagnostics, and Control: collective monograph*. London: Routledge, 2021. P. 279-290.
2. Waste Fleet Management Software. URL: <https://www.safefleet.net/products/fleet-management/waste-collection-software/>
3. Березюк О.В. Науково-технічні основи проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів: автореф. дис. д-ра техн. наук. Хмельницький, 2021. 46 с.
4. Kazachiner O., Boychuk Y., Halii A. Theoretical foundations of pedagogy and education. International Science Group, 2022. 602 p.
5. GPS Fleet Tracking for Garbage Trucks.
<https://www.trackyourtruck.com/industry/garbage-trucks/>
6. Khrebtii H. et al. Innovative ways of improving medicine, psychology and biology: collective monograph. Boston: Primedia eLaunch, 2023. 305 p.
7. Березюк О.В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2009. № 4. С. 81-86.

8. Березюк О.В. Планування багатофакторного експерименту для дослідження вібраційного гідроприводу ущільнення твердих побутових відходів // Вібрації в техніці та технологіях. 2009. № 3 (55). С. 92-97.
9. Березюк О.В. Дослідження динаміки гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвозів // Машинознавство. 2008. № 10 (136). С. 25-28.
10. Іскович-Лотоцький Р.Д., Міськов В.П., Слабкий А.В. Динамічна та математична моделі вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. 2014. № 48. С. 3-10.
11. Козлов Л.Г., Репінський С.В., Паславська О.В., Піонткевич О.В. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора // Наукові праці ВНТУ. 2017. № 2.
<https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/507/502>.
12. Піонткевич О.В. Підвищення ефективності багаторежимного гідроприводу фронтального навантажувача. дис. канд. техн. наук: 05.02.02. Київ, НТТУ «КПІ», 2019. 249 с.
13. Березюк О.В. Дослідження кінематики пристрою для сортування твердих побутових відходів // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». 2010. № 65. С. 49-55.
14. Мельничук О.І., Березюк О.В. Датчик малих лінійних переміщень для управління сміттєвозом // Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали III міжнар. наук.-прак. конф. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2019. С. 115.
15. Smart Tech for Waste and Recycling. URL: <https://routeware.com/>
16. Expedite your waste management fleet processes.
<https://www.fleetio.com/industries/waste-management-fleet-software>
17. Піонткевич О.В. Вплив параметрів системи керування гідроприводом мобільної робочої машини на динамічні характеристики // Вісник машинобудування та транспорту. 2016. № 2. С. 68-76.
18. Коц І.В., Березюк О.В. Вібраційний гідропривод для пресування промислових відходів // Вісник ВПІ. 2006. № 5. С. 146-149.

19. Поліщук Л.К., Піонткевич О.В., Коваль О.О. Аналіз впливу параметрів системи керування на динамічні процеси гідропривода стрічкового конвеєра // Промислова гідравліка і пневматика. 2016. № 2(52). С. 37-47.
20. Лозінський Д.О., Козлов Л.Г., Піонткевич О.В., Кавецький О.І. Оптимізація електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків // Вісник машинобудування та транспорту. 2023. № 1. С. 87-91.
21. Complete software solutions for waste haulers. URL: <https://soft-pak.com/>
22. Березюк О. В. Дослідження динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2009. № 33. С. 403-406.
23. Garbage Truck Cameras & Waste Management Fleet Software.
<https://www.3rdeyecam.com/industry/refuse/>.
24. Rusnak I. et al. Conceptual options for the development and improvement of medical science and psychology. International Science Group, 2023. 117 p.
25. Kozlov L., Piontkevych O., Semichasnova N., Ubidia Rodrigues D.D. The experimental stand for determining the characteristics of the hydraulic drive control system with the multifunctional counterbalance valve // Матер. II Міжнар. наук.-техн. конф. «Гідро- та пневмоприводи машин». ВНТУ, 2016. С. 119-120.
26. Піонткевич О.В., Козлов Л.Г., Березюк О.В., Сердюк О.В. Розрахунок гідродинамічної сили на золотнику врівноважувального клапана на основі імітаційного моделювання течії робочої рідини в його каналах // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2024. № 5. С. 77-83.
27. Garbage Truck Routing Software. URL: <https://www.route-manager.com/industries/garbage-truck-routing-software/>.
28. Azarenkov V. et al. Modern teaching methods in pedagogy and philology. Primedia eLaunch, 2023. 580 p.
29. Березюк О.В. Визначення параметрів впливу на частку диференційовано зібраних твердих побутових відходів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2011. № 5. С. 154-156.
30. Waste management software by haulers, for haulers. URL: <https://www.curbwaste.com/>