

SOFTWARE FOR CONTROLLING THE WORKING BODIES OF GARBAGE TRUCKS

Vinnytsia National Technical University

Анотація

У роботі розглядається програмне забезпечення для керування робочими органами сміттєвозів. Увага приділяється принципам функціонування, архітектурі та підходам до розробки такого програмного забезпечення. Розглянуто ключові модулі, включаючи ті, що відповідають за керування гідравлічними системами, протоколи безпеки та інтерфейси користувача. Сучасні тенденції автоматизації та дистанційної діагностики розглянуто в контексті впровадження програмного забезпечення. Підкреслено важливість надійності програмного забезпечення, роботи в режимі реального часу та відмовостійкості, а також можливостей інтеграції з іншими системами, такими як платформи управління автопарком.

Ключові слова: сміттєвоз, програмне забезпечення, автоматизація, система керування, робочі органи.

Abstract

The paper discusses software for controlling the working bodies of garbage trucks. Attention is paid to the principles of functioning, architecture, and development approaches of such software. The key modules, including those responsible for actuating hydraulic systems, safety protocols, and user interfaces, were considered. Modern trends in automation and remote diagnostics were examined in the context of software implementation. The importance of software reliability, real-time operation, and fault tolerance was emphasized, along with integration capabilities with other systems such as fleet management platforms.

Keywords: garbage truck, software, automation, control system, working bodies.

Introduction

The rapid growth of urban populations and the increasing volume of municipal solid waste have necessitated the modernization of garbage collection and disposal systems. Among the critical components of this modernization process is the development of intelligent systems that ensure precise and safe operation of garbage truck mechanisms [1]. Software for Controlling the Working Bodies of Garbage Trucks plays an essential role in automating waste collection, improving operational efficiency, and minimizing environmental impact. This paper provides a comprehensive overview of such software, considering its structure, functionality, and technological relevance in the context of current engineering trends.

Research results

Software for Controlling the Working Bodies of Garbage Trucks is one of the most dynamic and technologically complex segments in the field of urban automation and smart logistics [2]. This software plays a critical role in ensuring efficient, safe, and intelligent management of the mechanical and electromechanical systems that enable waste collection vehicles to perform their functions [3]. The research results presented below demonstrate the current state, trends, and prospects of these software systems, which are evolving in response to urban growth, digitalization, and sustainability requirements.

Modern software platforms for garbage truck automation are designed as embedded systems with real-time constraints. These platforms are centered around industrial microcontrollers or SoC units, which must handle simultaneous sensor data acquisition, actuator control, safety protocols, and communication with remote services [4]. The software is responsible for orchestrating complex sequences of mechanical motions, including the precise lifting, tilting, emptying [5], compacting [6], and ejection of waste from containers of various types and sizes [7]. This requires the development of tightly integrated software-hardware loops based on sensor fusion and control theory principles.

The system design begins with extensive modeling of operational scenarios, using simulation environments such as MATLAB/Simulink or ANSYS Twin Builder. Each working body – such as bin lifters, hydraulic presses [8-10], or rear-door mechanisms – is digitally modeled to assess kinematics [11], load distributions, stress points, and energy consumption patterns. Based on these models, developers create

control algorithms that are not only functionally accurate but also energy efficient and compliant with functional safety standards like ISO 26262 and IEC 61508. The software incorporates multiple operation modes, such as manual override, fully autonomous sequencing, and semi-automatic cycles, depending on context and operator input.

Sensor integration is a cornerstone of these systems. Pressure sensors ensure proper compaction force without damaging the mechanical frame. Proximity and LiDAR sensors [12] prevent collision with obstacles or humans in the truck's operational area [13]. Accelerometers help balance dynamic loads and improve maneuverability. Cameras and computer vision systems assist in container recognition and alignment, ensuring that only designated bins are lifted and emptied. These data streams are processed locally on edge computing modules, with support from AI inference engines where applicable.

Software architecture is typically layered, with a hardware abstraction layer (HAL), middleware services, and application logic residing on top. Communication between components follows deterministic protocols such as CANopen, J1939, or Ethernet TSN. The modularity of the software allows for different configurations based on truck model, client specifications, or regional waste management policies. This adaptability is crucial when dealing with diverse geographic and regulatory contexts, from European eco-zones with strict emission controls to densely populated Asian cities with constrained collection routes.

In terms of energy management, the shift toward hybrid and electric garbage trucks has necessitated the development of software capable of dynamic energy budgeting [14]. The software coordinates energy flow between drive motors, hydraulic pumps [15-18], battery management systems, and heating/cooling subsystems. Regenerative braking is carefully managed to prioritize battery recharge without compromising braking efficiency. Intelligent load scheduling ensures that high-power operations such as compaction are delayed if the battery is below a critical threshold, thus extending operational range.

Another significant area is functional safety. The software must respond predictively to system faults, whether due to sensor failure, actuator degradation, or communication loss. Fail-safe modes are implemented at multiple levels, and safety watchdogs monitor system health continuously. Real-time diagnostics are logged and analyzed to detect early signs of wear or failure. In advanced systems, fault-tree analysis and hazard models are used during development to preemptively address potential risks [19]. These approaches align with safety-critical system development methodologies used in aviation and automotive industries.

A major research focus is the interaction between the operator and the system. Human-machine interfaces (HMI) have evolved from basic button panels to fully interactive graphical interfaces with multi-language support, touchscreen control, and gesture or voice commands. These interfaces provide not only operational control but also training support, allowing new operators to simulate working body [20] sequences in a virtual mode before activating them on the physical vehicle. This reduces errors and improves operator confidence [21].

The software also facilitates real-time communication with central servers or municipal databases. Telemetry data – such as collection timestamps, waste type identification, hydraulic load trends [22, 23], and maintenance status – is uploaded via secure mobile networks. Remote diagnostics and over-the-air (OTA) updates are enabled through secure bootloaders and encrypted channels, ensuring the integrity of the vehicle's software ecosystem. Integration with municipal Smart City platforms allows for route optimization based on live traffic data and bin fill levels, enabling dynamic route adjustments that improve efficiency and reduce fuel usage.

Environmental adaptability is another key feature. Software must account for extreme temperature variations, from sub-zero winters in Northern Europe to tropical heat in Southeast Asia. Algorithms must adapt hydraulic timings and power limits based on fluid viscosity, battery performance, and mechanical expansion/contraction. Some systems incorporate self-learning modules that adjust system behavior over time based on local climate patterns and terrain gradients.

Cybersecurity is a growing concern, particularly as garbage trucks become connected nodes in municipal IoT networks. Software must protect against threats such as remote hijacking, malware injection, data theft, or denial of service. Secure coding practices, penetration testing, and threat modeling are part of the development process. Trusted Platform Modules (TPM) and hardware security modules (HSM) are increasingly used to secure firmware, keys, and boot processes [24].

One challenge is the lack of universal standards. Although there are several regional or industrial standards for vehicle control systems, there is no global standard specifically governing the software for garbage truck working bodies. This creates difficulties for interoperability and scalability. However, standardization efforts are underway, with working groups from ISO, IEEE, and industry consortia seeking

to define specifications for modular, interoperable software platforms.

There is also a strong ecological motivation behind these software systems. Efficient operation reduces idling time, unnecessary compaction cycles, and fuel consumption. Smart collection routes reduce CO₂ emissions and urban noise. Some systems can analyze waste type distribution [25] and correlate it with GPS data to identify patterns in public behavior, which supports better planning of waste policies or educational campaigns [26]. Furthermore, real-time feedback on recycling practices can be provided to citizens through connected apps.

Artificial Intelligence (AI) is becoming a transformative force in the design of garbage truck control systems. By applying machine learning models trained on operational data, software can predict optimal compaction timing, estimate fill levels without sensors, and anticipate mechanical wear before it leads to failure. Reinforcement learning algorithms are used to dynamically adapt control sequences to minimize energy use or reduce cycle time. AI also enables anomaly detection: if the hydraulic pressure deviates from the learned norm, the system can flag it for inspection, potentially preventing downtime or safety incidents.

Interoperability with other urban infrastructure systems is also gaining traction. Modern control software is being developed with open APIs and standardized data formats (e.g., JSON, MQTT, OPC-UA), which allow garbage trucks to communicate with smart traffic lights, GPS-based routing systems, and even local air quality monitoring networks. In some scenarios, if a neighborhood is experiencing high pollution or road congestion, the truck can automatically reroute or adjust its collection frequency. This level of integration reflects a broader trend toward intelligent, context-aware municipal services.

Automation levels are advancing rapidly. While most garbage trucks still require human operators for driving and supervision, certain manufacturers are piloting fully autonomous working body sequences – where once the truck reaches a GPS-verified stop, it executes the bin-lifting and compacting cycle without manual input. Computer vision systems confirm container identity, while sensor arrays verify bin position and safety clearance. These developments move the system closer to Level 4 autonomy in specific scenarios, such as gated communities or industrial zones.

There is also growing interest in platooning and fleet coordination. In large urban centers, garbage trucks can operate in synchronized formations, minimizing route overlap and fuel consumption. The software includes capabilities for vehicle-to-vehicle (V2V) communication, allowing multiple trucks to share route data, bin fill states, and maintenance schedules. Fleet coordination software, hosted in the cloud, assigns tasks dynamically based on location, traffic, and real-time bin monitoring from IoT-connected containers throughout the city.

Several cities have already implemented large-scale deployments of smart garbage truck fleets. For example, in Amsterdam, AI-enhanced trucks communicate with intelligent bins and use image recognition to identify unauthorized waste. In Singapore, automated micro-trucks operate in pedestrian zones using fully autonomous control logic. In Canada, municipal fleets are integrated into city-wide analytics systems that monitor efficiency, safety, and environmental impact. These implementations have reported measurable benefits in service quality, cost reduction, and citizen satisfaction.

Finally, scalability and maintainability are crucial for long-term success. Modular architectures allow municipalities to upgrade system components gradually – adding new sensor types, updating control algorithms, or integrating third-party services – without replacing the entire platform. Continuous integration/continuous deployment (CI/CD) pipelines and version control ensure smooth software evolution and regulatory compliance.

Conclusions

In conclusion, Software for Controlling the Working Bodies of Garbage Trucks represents a vital element in the modernization of urban waste management systems. It bridges the gap between mechanical engineering and digital automation, ensuring the safe, efficient, and intelligent operation of complex machinery. As cities continue to expand and demand for ecological sustainability grows, this software will become increasingly important for reducing operational costs, improving safety, and meeting environmental regulations. The ongoing evolution of control technologies, including machine learning and cloud-based analytics, further enhances the potential for optimization and innovation in this field. Future developments may also include integration with smart city infrastructure, enabling even more efficient waste collection strategies that align with broader urban planning goals.

References

1. Березюк О. В. Огляд конструкцій машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Вісник машинобудування та транспорту. – 2015. – № 1. – С. 3-8.
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 / О. В. Березюк. – Хмельницький, 2021. – 46 с.
4. GPS Fleet Tracking for Garbage Trucks. – URL: <https://www.trackyourtruck.com/industry/garbage-trucks/>
5. Березюк О. В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 4. – С. 81-86.
6. Березюк О. В. Планування багатофакторного експерименту для дослідження вібраційного гідроприводу ущільнення твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 3 (55). – С. 92-97.
7. Березюк О. В. Дослідження динаміки гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвозів / О. В. Березюк // Машинознавство. – 2008. – № 10 (136). – С. 25-28.
8. Іскович-Лотоцький Р. Д. Динамічна та математична моделі вібропрес-молота з електрогідролічним керуванням / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Миськов, А. В. Слабкий // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2014. – № 48. – С. 3-10.
9. Козлов Л. Г. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора [Електронний ресурс] / Л. Г. Козлов, С. В. Репінський, О. В. Паславська, О. В. Піонткевич // Наукові праці ВНТУ. – 2017. – № 2. – Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/507/502>.
10. Піонткевич О. В. Підвищення ефективності багаторежимного гідроприводу фронтального навантажувача. дис. канд. техн. наук : 05.02.02 / О. В. Піонткевич. – Київ, НТТУ «КПІ», 2019. – 249 с.
11. Березюк О. В. Дослідження кінематики пристрою для сортування твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – 2010. – № 65. – С. 49-55.
12. Мельничук О. І. Датчик малих лінійних переміщень для управління сміттєвозом / О. І. Мельничук, О. В. Березюк // Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали III міжнар. наук.-прак. конф., 3-5 квіт. 2019 р. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2019. – С. 115.
13. Smart Tech for Waste and Recycling. – URL: <https://routeware.com/>
14. Expedite your waste management fleet processes. – URL: <https://www.fleetio.com/industries/waste-management-fleet-software>
15. Піонткевич О. В. Вплив параметрів системи керування гідроприводом мобільної робочої машини на динамічні характеристики / О. В. Піонткевич // Вісник машинобудування та транспорту. – 2016. – № 2. – С. 68-76.
16. Коц І. В. Вібраційний гідропривод для пресування промислових відходів / І. В. Коц, О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 5. – С. 146-149.
17. Поліщук Л. К. Аналіз впливу параметрів системи керування на динамічні процеси гідропривода стрічкового конвеєра / Л. К. Поліщук, О. В. Піонткевич, О. О. Коваль // Промислова гідроліка і пневматика. – 2016. – № 2(52). – С. 37-47.
18. Лозінський Д. О. Оптимізація електрогідролічного розподільника з незалежним керуванням потоків / Д. О. Лозінський, Л. Г. Козлов, О. В. Піонткевич, О. І. Кавецький // Вісник машинобудування та транспорту. – 2023. – № 1. – С. 87-91.
19. Complete software solutions for waste haulers. – URL: <https://soft-pak.com/>
20. Березюк О. В. Дослідження динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози / О. В. Березюк // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2009. – № 33. – С. 403-406.
21. Garbage Truck Cameras & Waste Management Fleet Software. – URL: <https://www.3rdeyecam.com/industry/refuse/>
22. Kozlov L. The experimental stand for determining the characteristics of the hydraulic drive control system with the multifunctional counterbalance valve / L. Kozlov, O. Piontkovich, N. Semichasnova, D. D. Ubidia Rodrigues // Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Гідро- та пневмоприводи машин». – ВНТУ, 2016. – С. 119-120.
23. Піонткевич О. В. Розрахунок гідродинамічної сили на золотнику врівноважувального клапана на основі імітаційного моделювання течії робочої рідини в його каналах / О. В. Піонткевич, Л. Г. Козлов, О. В. Березюк, О. В. Сердюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2024. – № 5. – С. 77-83.
24. Garbage Truck Routing Software. – URL: <https://www.route-manager.com/industries/garbage-truck-routing-software/>
25. Березюк О. В. Визначення параметрів впливу на частку диференційовано зібраних твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 5. – С. 154-156.
26. Waste management software by haulers, for haulers. – URL: <https://www.curbwaste.com/>

Лавренюк Арсен Олександрович – студент групи ІПІ-226, Факультет інформаційних технологій та комп’ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: arsenlavreniuk@gmail.com

Науковий керівник: **Березюк Олег Володимирович** – доцент, доктор технічних наук, професор кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: berezyukoleg@i.ua

Lavreniuk Arsen Oleksandrovich – student of group ІPI-22b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: arsenlavreniuk@gmail.com

Supervisor: **Bereziuk Oleh Volodymyrovych** – Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Life Safety and Safety Pedagogy, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, e-mail: berezyukoleg@i.ua