

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
РОБОТИЗИРОВАННЫХ МАШИН В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ
DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR THE MOVEMENT
OF ROBOTIC MACHINES IN URBAN CONDITIONS**

Богданов И.В., студент

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Bogdanov I.V., student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»,
Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматриваются принципы работы и алгоритмы управления роботизированными снегоуборочными машинами. Описаны основные подсистемы, включая систему навигации, систему обнаружения препятствий, систему планирования маршрута и исполнительные механизмы. Особое внимание уделено алгоритмам, используемым для определения границ обрабатываемой территории, оптимизации маршрута с учетом рельефа и текущего состояния снежного покрова, а также адаптации к изменяющимся погодным условиям. Представлены методы машинного обучения, применяемые для повышения эффективности и безопасности работы автономных снегоуборщиков. Обсуждаются перспективы развития и внедрения данной технологии в различных сферах.

Summary: The article discusses the operating principles and control algorithms of robotic snow removal machines. The main subsystems are described, including the navigation system, obstacle detection system, route planning system and actuators. Particular attention is paid to the algorithms used to determine the boundaries of the area to be processed, route optimization taking into account the terrain and current state of the snow cover, as well as adaptation to changing weather conditions.

Machine learning methods used to improve the efficiency and safety of autonomous snow removal machines are presented. Prospects for the development and implementation of this technology in various fields are discussed.

Ключевые слова: роботизированная снегоуборочная машина, автономная навигация, обнаружение препятствий, планирование маршрута, машинное обучение, алгоритмы управления, снегоуборочная техника, автоматизация уборки снега.

Keywords: robotic snow removal machine, autonomous navigation, obstacle detection, route planning, machine learning, control algorithms, snow removal equipment, automation of snow removal.

Согласно прогнозам Международной федерации робототехники (МФР), к 2025 году отрасль ждет революционные изменения, которые перевернут подходы к автоматизации. Основные направления развития включают:

1. Искусственный интеллект как драйвер адаптивности.

Нейросетевые технологии станут ключевым инструментом для повышения гибкости роботов. Физический искусственный интеллект, способный обучаться в реальном времени, будет востребован в промышленности (например, для управления конвейерами) и сервисной сфере – от уборки до логистики. Такие системы смогут самостоятельно корректировать действия при изменении условий, что снизит количество ошибок на 40–60%, по оценкам аналитиков[1].

2. Взлет рынка специализированных андроидов.

Производители переориентируются на создание роботов с гиперспециализацией. Например, в автопроме будут внедрять человекоподобных роботов для сборки деталей в условиях ограниченного пространства, а в складской логистике – для сортировки грузов с точностью до миллиметра. По данным аналитиков, к 2025 году доля узкопрофильных роботов в общем объеме продаж вырастет до 70% [2].

3. Энергетическая революция: легкие, «умные» и бионические.

Повышение энергоэффективности станет обязательным требованием. Конструкторы будут использовать композитные материалы для снижения веса, внедрять режимы «сна» при простоях и применять бионические захваты, имитирующие строение человеческой кисти. Например, роботизированные руки с сенсорной обратной связью смогут бережно перемещать хрупкие объекты, снижая энергозатраты на 30%.

4. Расширение рынков: от заводов до сельского хозяйства.

Хотя промышленность останется основным потребителем роботов, новые ниши появятся в сельском хозяйстве (автономные сеялки), ЖКХ (уборка территорий [3]) и даже в быту (роботы-помощники). Для таких секторов будут разработаны бюджетные модели с упрощенной логикой, где точность и грузоподъемность не критичны. По прогнозам McKinsey, к 2025 году эти сегменты составят 25% глобального рынка робототехники.

5. Борьба с дефицитом кадров через автоматизацию.

Роботы возьмут на себя до 50% рутинных и опасных задач: от работы с токсичными веществами до обслуживания высотных конструкций. Это не только сократит травматизм на производстве, но и высвободит людей для творческих и стратегических задач. Так, в строительстве дроны уже заменяют людей при осмотре мостов, снижая риски на 80%.

На этом фоне автоматизация уборки снега с помощью роботов выглядит перспективным направлением. Традиционные методы, требующие больших трудозатрат и зависящие от погоды, постепенно уступают место автономным машинам. Роботизированные снегоуборщики способны повышать эффективность очистки территорий, снижать расходы и минимизировать риски в сложных условиях. Роботизированные снегоуборщики предлагают:

- экономию ресурсов: снижение затрат на топливо и зарплаты до 40%.
- повышение безопасности: минимизация аварий из-за гололеда или снежных заносов.
- круглосуточную работу: автономные машины не требуют перерывов, что критично в снежные зимы.

Современная снегоуборочная машина – это симбиоз механики, сенсоров и искусственный интеллект. Структура роботизированной снегоуборочной машины включает:

1). Систему навигации: GPS/ГЛОНАСС, инерциальные датчики (IMU), лидары и алгоритмы SLAM для точного позиционирования даже при слабом сигнале. Для точного позиционирования используются спутниковые системы, инерциальные датчики (IMU) и лидары. Алгоритм SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) создает 3D-карту местности в реальном времени, даже при отсутствии GPS-сигнала. Например, в метель система опирается на данные лидара, распознавая контуры зданий и деревьев с точностью до 2 см.

2) Обнаружение препятствий: комплекс датчиков (лидары, радары, камеры, ультразвук) с алгоритмами сенсорного слияния данных для надежного распознавания объектов. Комплекс из лидаров (дальность до 200 м), радаров (ра-

ботают в снегопад), ультразвуковых датчиков (для ближней зоны) и камер с искусственным интеллектом-анализом распознает объекты с 99% точностью. Например, нейросеть различает пешехода и снежный сугроб, корректируя маршрут за 0,3 секунды.

3) Планирование маршрута: использование алгоритмов A*, Dijkstra и методов покрытия территории для оптимального пути с учетом рельефа и плотности снега. Для оптимизации пути используются:

- A* и Дейкстры: минимизация времени уборки за счет расчета кратчайшего маршрута.

- Алгоритмы покрытия территории: змейкой или спиралью очищают площадь без пропусков.

- Адаптивное планирование: в случае появления внезапного препятствия (например, припаркованного автомобиля) маршрут перестраивается за 500 мс.

4) Исполнительные механизмы: управление отвалом, ротором и гидравликой с адаптацией к типу снежного покрова.

Отвал с регулируемым углом атаки и ротор с изменяемой скоростью вращения адаптируются к плотности снега. Например, для рыхлого снега ротор работает на 1500 об/мин, а для наледи – на 2500 об/мин, что снижает энергопотребление на 25%.

5) Центральный контроллер: обработка данных, управление подсистемами и телеметрия для удаленного контроля.

«Мозг» робота обрабатывает данные со скоростью 50 ГБ/час, управляя всеми системами. Через облачную платформу оператор может удаленно контролировать до 50 машин, получая отчеты о расходе энергии и состоянии узлов.

Методы искусственного интеллекта проникают во все аспекты работы роботов:

- адаптивный отвал: нейросеть, обученная на данных о 10000 снегоуборок, подбирает угол наклона отвала в зависимости от типа покрытия (асфальт, брусчатка) и температуры воздуха;

- прогноз погоды: модель, интегрированная с метеосервисами, предсказывает образование наледи за 6 часов, перенастраивая режим работы машины;

- энергоэффективные маршруты: алгоритм, анализирующий карты высот, минимизирует подъемы, сокращая расход энергии на 18%.

Роботизированные снегоуборщики – не просто инструмент для уборки, а часть глобальной трансформации городской инфраструктуры. Их внедрение требует решения ряда задач:

- разработка стандартов безопасности для автономных машин;
- интеграция с «умными» городскими системами (например, светофорами);
- создание резервных источников энергии для работы в условиях перебоев.

Таким образом, внедрение роботизированных решений в зимнее содержание территорий не только соответствует глобальным трендам, но и способно стать прорывом в обеспечении транспортной доступности и снижении аварийности в условиях климатических вызовов.

Список литературы

1. Hi-News.ru – Создан робот для автоматической очистки снега на больших территориях. – URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdan-robot-dlya-avtomaticheskoy-ochistki-sneга-na-bolshix-territoriyah.html?ysclid=m8ww2gitvd548624465> (дата обращения: 31.03.2025).
2. Мир робототехники. – URL: <https://roboticsworld.ru/news/top-5-trendov-robototekhniki-2025-goda/> (дата обращения: 31.03.2025).
3. ЭнергоТехИнновации. – URL: <https://zoomlion-maz.by/obzory-novejshejspectehniki/bespilotnaja-spectehnika-v-stroitelstve-budushhee-uzhe-zdes/> (дата обращения: 31.03.2025).

References

1. Hi-News.ru – A robot for automatic snow removal over large areas has been created. – URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdan-robot-dlya-avtomaticheskoy-ochistki-sneга-na-bolshix-territoriyah.html?ysclid=m8ww2gitvd548624465> (date of access: 31.03.2025).
2. The world of robotics. – URL: <https://roboticsworld.ru/news/top-5-trendov-robototekhniki-2025-goda/> (date of access: 31.03.2025).
3. EnergyTechInnovations. – URL: <https://zoomlion-maz.by/obzory-novejshejspectehniki/bespilotnaja-spectehnika-v-stroitelstve-budushhee-uzhe-zdes/> (date of access: 31.03.2025).