

ЗОРИНА У. О., СИЗЬМИНА Д. В.
РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ
ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА МУСОРНЫХ СВАЛКАХ

УДК 004.896, 628.472.37, ГРНТИ 28.23.27

Статья поступила в редакцию 03.01.2025

Разработка концепции роботизированной
системы для тушения пожаров на
мусорных свалках

Development of the concept of a
robotic system for extinguishing
fires in landfills

У. О. Зорина, Д. В. Сизьмина

U. O. Zorina, D. V. Sizmina

РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва

Plekhanov University, Moscow,
Russia

*В статье представлено описание
концепции робота для тушения пожаров
на мусорных свалках, обоснование его
актуальности и необходимости
внедрения. Также проведен расчёт его
себестоимости и экономической выгоды
для государства.*

*The article describes the
concept of robot for firefighting in
landfills, justification of its
relevance and need to implement.
Also calculated its cost and
economic benefits for the state.*

Ключевые слова: мусорная свалка,
тушение пожара, роботизированная
система, разработка концепции

Keywords: garbage dump, fire
extinguishing, robotic system,
concept development

Введение

С каждым годом экологическая обстановка в России значительно ухудшается. Одной из причин является увеличение объемов мусора. Мусорные свалки, расположенные вблизи жилых зон, представляют серьезную угрозу жизни и здоровья граждан, так как пожары, происходящие на них, помимо ухудшения качества воздуха, выбрасывают в атмосферу токсичные вещества и наносят непоправимый вред экологии и здоровью людей. Для решения данной проблемы мы предлагаем робота, который будет курсировать по мусорным свалкам и, обладая необходимыми технологиями, находить очаги возгорания и тушить их. Данный проект является экономически выгодным для государства, так как в перспективе стоимость одного робота будет ниже затрат на пожарную бригаду, а также он будет обладать большей эффективностью в предотвращении опасных для граждан последствий пожара. Реализация данного решения может встретить ряд трудностей. В России высок уровень безработицы, поэтому сотрудников на выполнение нашей задачи может быть недостаточно, также в России слабо развит робототехнический комплекс, поэтому ресурсов страны может не хватить на то, чтобы воплотить в жизнь наш проект.

Целью данной работы является совершенствование управления мусорными свалками в Российской Федерации. Объектом исследования являются мусорные свалки. Предметом исследования является использование роботов для управления мусорной свалкой.

В работе решается задача обоснования необходимости создания роботизированной системы для тушения пожаров на свалках.

Теоретический анализ проблемы

По данным Минприроды, ежегодно в России образуется 50 млн тонн твердых коммунальных отходов, при этом почти четверть этого мусора приходится на столичный регион.

Проблема пожаров на мусорных свалках как никогда актуальна, ведь они могут нанести непоправимый вред жизни и здоровью людей. В последние годы наблюдается увеличение количества инцидентов, особенно на крупных полигонах, таких как «Кучино» и «Ядрово». Например, по данным на 2023 год, число возгораний в области остаётся высоким, что вызывает многочисленные жалобы от граждан, проживающих поблизости [1].

На Рисунке 1 представлена динамика пожаров в России в Московском регионе за 2018-2023 год и на нем можно увидеть возрастающую тенденцию пожаров с каждым годом.

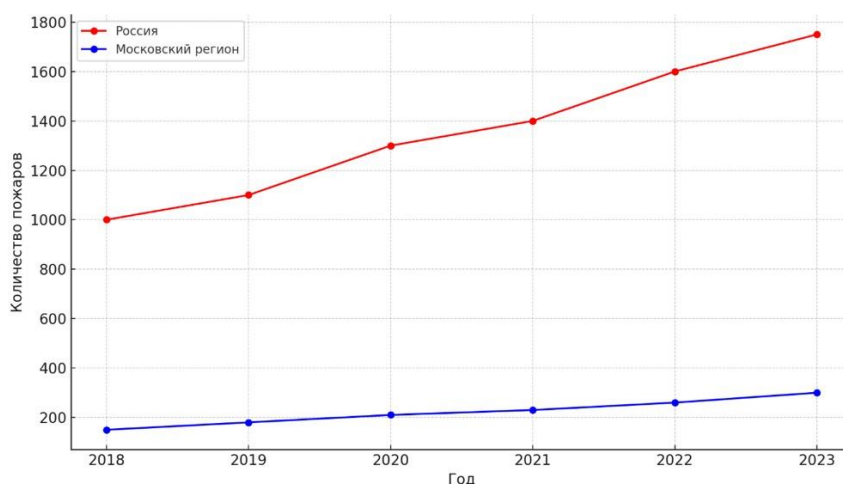


Рисунок 1. Динамика пожаров на мусорных полигонах в России и в Московском регионе (2018-2023)

При возгорании мусорного полигона в воздух попадает большое количество токсичных веществ, таких как: формальдегид, уксусная кислота, оксид углерода и диоксиды, которые оказывают канцерогенное воздействие и признаны иммунодепрессантами, монооксид углерода взаимодействует с гемоглобином крови, блокируя доставку кислорода.

В 2023 году в России материальный ущерб от возгораний на мусорных полигонах оценивается в миллиарды рублей, а само количество пожаров, требуемых вмешательства служб, превысило 50000 случаев в год.

В настоящее время использование роботов в управлении процессами обращения с отходами становится все более частым [2]. Поэтому актуальным является рассмотрение вопросов, связанных с использованием роботов для тушения пожаров на мусорных свалках поможет значительно сократить расходы. Роботы, оборудованные датчиками дыма и системами, смогли бы самостоятельно тушить пожар и не требовали бы вмешательства специальных служб, что помимо сокращения расходов помогло бы снизить уровень загруженности пожарных бригад, что также снизило бы количество крупных пожаров, произошедших вследствие запоздалого начала их устранения [3].

Поэтому исследования в рамках данной задачи являются продолжением исследований, проведенных в [2].

Экспериментальная часть (Формирование концепция робота для тушения пожаров на мусорных свалках)

Робот предназначен для автоматизации процесса обнаружения и своевременного тушения возгораний на мусорных свалках и предотвращения и минимизации экологических рисков.

Принцип работы робота заключается в следующем: робот, оснащенный несколькими типами сенсоров, будет иметь систему автономной навигации, определяющую местоположения очагов возгорания, планирующую маршруты и осуществляющую локализацию пожара. Основные компоненты уже есть в производстве, поэтому их будет несложно интегрировать в процесс создания робота.

С технической точки зрения робот будет иметь следующие составляющие:

- Датчик дыма и газоанализатор. С помощью них робот будет определять наличие возгорания.
- Лазерный дальномер и камера. Робот будет иметь лазерный дальномер для определения расстояния между объектами, а также камеру с инфракрасным фильтром, обнаруживающим очаги тепла.
- WI-FI модуль. С помощью WI-FI робот будет делиться своим местоположением с пожарными службами, а также сообщать о результатах тушения возгорания.
- Плата для проведения расчетов и накопления информации. Она предназначена для хранения информации обо всех случаях обнаружения признаков возгораний [4].

Логистика робота по свалке будет происходить с помощью специальной системе передвижения, работающей с использованием алгоритмов искусственного интеллекта (AI), разработанных для автономной навигации. Компонентами данной системы будут являться:

- Карта местности. При патрулировании робот будет получать карту полигона, включающую рельеф, склоны и препятствия. Благодаря этим данным робот сможет самостоятельно проложить маршрут, обеспечивая покрытие всей поверхности.

- Навигация и избегание препятствий. Система будет использовать ультразвуковые датчики и лидар, которые в свою очередь будут обнаруживать препятствия.

- Реакция на возгорание. При обнаружении очага возгорания процесс патрулирования прекращается, и робот выдвигается к источнику пожара, избегая препятствия и анализируя уровень интенсивности дыма, выбирая оптимальную траекторию. [3].

Далее представлена конструкция робота, обеспечивающая высокую маневренность и устойчивость на пересеченной местности:

- Корпус и защита. Корпус робота будет сделан из алюминиевого сплава, который способен выдерживать высокие температуры и другие сложные условия эксплуатации, а также устойчив к повреждениям.

- Колесная система с независимой подсветкой.

- Резервуар для воды и насосная система. Робот будет иметь резервуар с водой с объемом до 500 литров, а также насосом высокого давления [5].

С помощью соответствующего запроса к генеративной нейросети (с учетом приведенных выше характеристик) был получен прототип внешнего вида роботизированной системы тушения пожаров на свалках, обладающей колесной системой, датчиками дыма и газоанализатором, камерой, резервуаром с водой и насосной системой (Рисунок 2).



Рисунок 2. Прототип робота для тушения пожаров на мусорных свалках

Работа роботов для управления обращением с отходами основана на использовании устройств Интернета вещей, искусственного интеллекта и машинного обучения. При этом, имеются следующие особенности использования таких роботов:

1. Должна быть обеспечена взаимная корреляция работы датчиков, выравнивание данных, полученных от нескольких датчиков [6].

2. Для работы роботизированной системы необходимо обеспечить эффективное планирование движения и преодоления препятствий. То есть, роботы, входящие в состав системы, должны преодолевать статические препятствия (деревья, камни и т. д.) и динамические препятствия (люди, животные, транспортные средства.) и следовать по оптимальной траектории [7].

3. Роботы могут работать в группах [8].

4. Должна быть обеспечена надежная работа устройств Интернета вещей в неблагоприятных условиях (влияние факторов окружающей среды может привести к ошибочным показаниям датчиков) [9].

5. Должен быть обеспечен необходимый уровень готовности мусорной свалки к информатизации [10]. При отсутствии необходимого уровня готовности к информатизации проект по внедрению таких роботов скорее всего потерпит неудачу.

Экономическое обоснование

Для разработки и внедрения роботов для тушения пожаров на мусорных полигонах сперва необходимо спланировать финансовую часть и экономически обосновать инновацию. В качестве первой партии мы предлагаем разработать 10 роботов, с дальнейшей возможностью увеличения объемов производства при успешном запуске пилотного проекта.

Реализация роботизированной системы разделена на 7 этапов, каждый из которых включает в себя подзадачи.

1. Исследование и анализ. Данный этап включает в себя такие задачи, как анализ проблемы пожаров на мусорных свалках и изучение существующих методов по ее устранению.

2. Проектирование. На данном этапе необходима разработка концепции робота, продумывание его размера, внешнего вида и функциональности, а также создание технического задания. Стоимость данного этапа составляет приблизительно 700000 рублей. Она включает в себя затраты на разработку концепции и технического задания с привлечением квалифицированных инженеров.

3. Прототипирование. На данном этапе идет реализация первого прототипа и разработка программного обеспечения для управления роботом. Этап прототипирования будет стоить около 1000000 рублей. Цена обосновывается затратами на материалы, сборку, включает в себя оплату специалистам и разработку ПО.

4. Тестирование и доработка. Задачами этого этапа являются проведение тестирования в моделируемых условиях пожара, а также проведение теста в условиях, максимально приближенным к реальным. Затраты на тестирование, оценку работоспособности и дальнейшие доработки по результату теста составят около 1000000 рублей.

5. Подготовка к серийному производству. Перед глобальным запуском необходима разработка производственной документации и определение необходимых ресурсов и поставщиков. На реализацию этих задач необходимо будет приблизительно 600000 рублей.

6. Запуск производства. Данный этап является финальным и включает в себя организацию серийного производства роботов [11].

7. Товарный знак

8. Сертификация

Ниже представлена приблизительная смета затрат, включающая в себя затраты на материалы. (Таблица 1).

Таблица 1. Обобщенная смета затрат на производство одного робота (на дату)

Наименование	Стоимость за единицу	Примечание
Корпус	250000 рублей	Корпус состоит из алюминиевого сплава
Лазерный дальномер и инфракрасная камера	150000 рублей	Покупка у сертифицированных поставщиков
Резервуар для воды и насосная система	70000 рублей	Пластик/композитные материалы
Датчики дыма	60000 рублей	Покупка у сертифицированных поставщиков
Колёсная система с подвеской	100000 рублей	Независимая подвеска и амортизаторы
Электродвигатели и аккумуляторная батарея	250000 рублей	Литий-ионный аккумулятор высокой емкости
Итого	1080000	Общая стоимость материалов на одного робота

Обозначим общие затраты на пилотный проект. Производство 10 роботов будет стоить около 10 миллионов. С учетом этапов проектирования, прототипирования, тестирования и подготовки к производству общая стоимость пилотного проекта будет равна приблизительно 14000000 рублей.

Далее будет проведен анализ внедрения и окупаемости. При регулярном техническом обслуживании срок эксплуатации робота будет составлять приблизительно 5 лет. При увеличении объемов производства стоимость себестоимости продукции, за счет автоматизации процесса, может быть снижена до 800000 рублей, что будет экономить до 25% затрат на изготовление при массовом выпуске.

На данный момент тушение пожаров на мусорных свалках осуществляется за счет работы пожарных бригад с использованием специальной техники и большого количества водных ресурсов. Данный подход требует серьезных затрат, как на постоянные выезды бригады и оперативное тушение, что не всегда возможно, так и на специализированную технику, инфраструктуру и зарплатный

фонд сотрудников. В среднем на крупных полигонах ежегодно происходит до 10 крупных возгораний, что оборачивается расходами в размере около 4 - 6 миллионов рублей только на тушение, не считая медицинских и экологических расходов, которые могут увеличивать итоговую сумму до 8-10 миллионов рублей. При внедрении роботов в данный процесс государственные расходы будут.

Взаимодействие с государством и внедрение

Для успешного внедрения роботизированной системы тушения пожаров на мусорных свалках необходимо тесное сотрудничество руководства мусорных свалок с государственными органами, а именно с Министерством природных ресурсов и экологии, МЧС и с департаментами, отвечающими за экологию в регионах Российской Федерации.

Для обеспечения данного сотрудничества мы разделили процесс взаимодействия с органами власти на следующие этапы:

1. Разработка инновационного предложения. На данном этапе будет составлен детализированный проект, включающий научное обоснование и план реализации.

2. Презентация экономических нужд. После представления плана реализации, государству будут презентованы расчеты по снижению затрат и улучшению экологической обстановки

3. Согласование технической документации и сертификации. Далее необходим процесс сертификации с целью соответствия требованиям безопасности и стандартам экологической службы.

4. Переговоры о государственном финансировании проекта и субсидиях. Последним этапом будет определение доли со финансирования для снижения затрат на массовом производстве и, наконец, внедрение.

Использование роботизированной системы тушения пожаров на мусорной свалке будет экономически и социально выгодным для государства. В первую очередь из-за долгосрочной экономии бюджетных средств. Благодаря роботам процесс тушения пожаров на свалках будет требовать минимальное участие людей, так как один робот сможет автономно обнаруживать очаги возгорания и устранять их, что заменит работу целой бригады и предотвратит необходимость потребления большого количества ресурсов. По оценкам, использование роботов поможет сократить медицинские расходы в среднем на 30%, за счет снижения воздействия токсичных веществ на окружающую среду вследствие оперативно тушения пожара.

Помимо этого, роботы снизят нагрузку на пожарных работников, что увеличит их эффективность. Благодаря внедрению роботов для тушения пожаров произойдет поддержка экологической политики и инноваций, что необходимо для развития государства.

Внедрение роботов на мусорные полигоны станет инновационным проектом, который возьмет свое начало в регионах с наивысшим уровнем готовности к информатизации (цифровизации) и в дальнейшем может быть

задействован во всех регионах Российской Федерации по мере их готовности к внедрению таких роботов.

Опыт внедрения роботов для тушения пожаров на мусорных свалках поспособствует стандартизации подходов к обеспечению экологической безопасности на всех мусорных полигонах, что создаст государственную систему мониторинга и контроля пожаров на мусорных свалках.

Заключение

В данной статье сформирована концепция использования робота для тушения пожаров на мусорных свалках. В рамках решения данной задачи был проведен эксперимент по генерации прототипа внешнего вида робота для тушения пожаров на мусорных свалках с использованием генеративной нейросети. Рассмотрены условия, которые необходимо учитывать при внедрении роботов такого класса. Также рассмотрены экономические вопросы, связанные с производством и внедрением партии роботов такого класса. Приведен порядок взаимодействия руководства мусорных свалок с государственными и региональными органами власти.

Внедрение роботизированной системы для тушения пожаров на мусорных свалках сможет улучшить экологическую обстановку. При этом, внедрение роботов для тушения пожаров на мусорных свалках требует развития информационной инфраструктуры мусорных свалок.

Список использованных источников и литературы:

1. Шиловский, А. И., Сивко, А. Г. Экологическая безопасность и управление отходами: учебник. — Москва: Инфра-М, 2021. — 352 с.
2. Попов, А. А. Программные модули для «умного» управления обращением с отходами и модель их взаимодействия // Экономика строительства. — 2024. — № 8. — С. 191-199.
3. Герасимов, А. Н. Пожарная безопасность. Основы и принципы: учебное пособие. — Санкт-Петербург: Издательство Лань, 2020. — 298 с
4. Королев, С. Ю. Робототехника и автоматизация производства: учебник. — Москва: Юрайт, 2019. — 420 с.
5. Паньков, Д. А., Лапшина, А. С. Экология и природопользование: учебник. — Москва: Юнити-Дана, 2018. — 310 с.
6. Ахмед Хан Х., Накви С. С., Алхарби А. А. К., Алотаиби С., Алхатами М. Улучшение классификации мусора в умных городах с использованием федеративного глубокого обучения // Научные отчеты. — 2024. — Том. 14(1). — Искусство. Номер: 11816.
7. Шлаппа М., Хегеманн Дж., Спинлер С. Оптимизация управления мусоросжигательными заводами с использованием обучения с подкреплением и цифровых двойников // IEEE Transactions on Engineering Management. — 2024. — Том. 71. - ПП. 3076-3087.

8. Ашер С., Ван Х., Уотсон И., Слоан В., Ю С. Интерпретируемое машинное обучение для моделирования биомассы и газификации отходов // Биоресурсные технологии. — 2022. — Том. 364. — Ст. Номер: 128062.
9. Крохмальный К., Недзвецки Л., Пелинска-Олко Е., Внуковски М., Чайка К., Ткачук-Серафин М., Павляк-Кручек М. Определение маркера для автоматизации процессов торрефикации и медленного пиролиза — пример сферических древесных частиц // Возобновляемая энергетика. — 2020. — Том. 161. — ПП. 350-360.
10. Попов, А. А. Алгоритм выбора информационной системы для предприятия с учетом уровня его готовности к автоматизации // Современные наукоемкие технологии. — 2016. — № 5-1. — С. 66-70.
11. Сидорова, Е. В. Охрана окружающей среды и ресурсосбережение: учебник. — Москва: Академия, 2022. — 276 с.

List of references

1. Shilovsky, A. I., Sivko, A. G. Environmental safety and waste management: textbook. - Moscow: Infra-M, 2021. - 352 p.
2. Popov, A. A. Software modules for “smart” waste management and a model of their interaction // Construction Economics. — 2024. — No. 8. — P. 191-199.
3. Gerasimov, A. N. Fire safety. Fundamentals and principles: textbook. - St. Petersburg: Lan Publishing House, 2020. - 298 p.
4. Korolev, S. Yu. Robotics and production automation: textbook. — Moscow: Yurayt, 2019. — 420 p.
5. Pankov, D. A., Lapshina, A. S. Ecology and environmental management: textbook. — Moscow: Unity-Dana, 2018. — 310 p.
6. Ahmed Khan H., Naqvi S. S., Alharbi A. A. K., Alotaibi S., Alkhathami M. Enhancing trash classification in smart cities using federated deep learning // Scientific Reports. — 2024. — Vol. 14(1). — Art. Number: 11816.
7. Schlappa M., Hegemann J., Spinler S. Optimizing Control of Waste Incineration Plants Using Reinforcement Learning and Digital Twins // IEEE Transactions on Engineering Management. — 2024. — Vol. 71. — PP. 3076-3087.
8. Ascher S., Wang X., Watson I., Sloan W., You S. Interpretable Machine Learning to Model Biomass and Waste Gasification // Bioresource Technology. — 2022. — Vol. 364. — Art. Number: 128062.
9. Krochmalny K., Niedzwiecki L., Pelinska-Olko E., Wnukowski M., Czajka K., Tkaczuk-Serafin M., Pawlak-Kruczek M. Determination of the marker for automation of torrefaction and slow pyrolysis processes - A case study of spherical wood particles // Renewable Energy. — 2020. — Vol. 161. — PP. 350-360.
10. Popov, A. A. Algorithm for choosing an information system for an enterprise, taking into account the level of its readiness for automation // Modern science-intensive technologies. — 2016. — No. 5-1. — P. 66-70.
11. Sidorova, E. V. Environmental protection and resource conservation: textbook. — Moscow: Academy, 2022. — 276 p.