

УДК 614.84: 681.5: 504.054

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОЛИГОНОВ ТБО

Семенов Н.В.<sup>1</sup> аспирант, Яковлев И.В.<sup>1</sup> аспирант, Яковлев С. В.<sup>1</sup> студент гр. АМ-231, II курс

Научный руководитель: Горелкина А.К.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор

<sup>1</sup> Кемеровский государственный университет  
г. Кемерово

Полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) являются неотъемлемой частью инфраструктуры современных городов. Однако их эксплуатация сопряжена с рядом экологических и технических рисков, среди которых особое место занимает пожарная безопасность. Возгорания на полигонах ТБО могут привести к выбросам токсичных веществ, загрязнению атмосферы и почвы, а также создать угрозу для жизни и здоровья людей. В связи с этим актуальной задачей становится внедрение автоматизированных систем, способных минимизировать риски возникновения пожаров и обеспечить безопасность эксплуатации полигонов.

Целью данной статьи является исследование возможностей автоматизации полигонов ТБО для повышения уровня пожарной безопасности, а также анализ методов организации и управления полигонами, включая разделение на секции и механизм закрытия заполненных участков.

1. Рассмотреть понятие и структуру полигонов ТБО.
2. Изучить метод разделения полигона на секции.
3. Проанализировать механизм закрытия секций по аналогии с саркофагом.
4. Оценить преимущества и недостатки предлагаемого метода.

Полигоны ТБО — это специально оборудованные территории, предназначенные для захоронения твердых бытовых отходов. Они представляют собой сложные инженерные сооружения, включающие системы сбора и отвода фильтрата, газоотведения, а также контроля за состоянием окружающей среды. Полигоны должны соответствовать строгим экологическим и санитарным нормам, чтобы минимизировать негативное воздействие на природу и человека [1].

Структура полигона ТБО включает следующие основные элементы:

1. Карта (участок) для размещения отходов.
2. Система сбора и утилизации фильтрата.
3. Система сбора и утилизации биогаза.
4. Дренажные и защитные слои.

Контрольно-измерительные приборы для мониторинга состояния полигона.

Эффективное управление полигоном требует четкого разделения территории на секции, что позволяет контролировать процесс заполнения и минимизировать риски возгорания [2].

Разделение полигона на секции — это ключевой метод организации его работы. Каждая секция представляет собой изолированный участок, который заполняется отходами в определенной последовательности. После заполнения секция закрывается и переходит в стадию рекультивации. Такой подход позволяет:

- Упростить контроль за состоянием отходов.
- Снизить вероятность возгорания.
- Уменьшить площадь потенциального очага пожара.

Автоматизация полигонов твердых бытовых отходов с применением куполообразных конструкций типа «саркофаг» представляет собой современный технологический подход, направленный на повышение экологической безопасности и эксплуатационной эффективности.

Конструкция «Саркофага» приведена на рисунке 1.

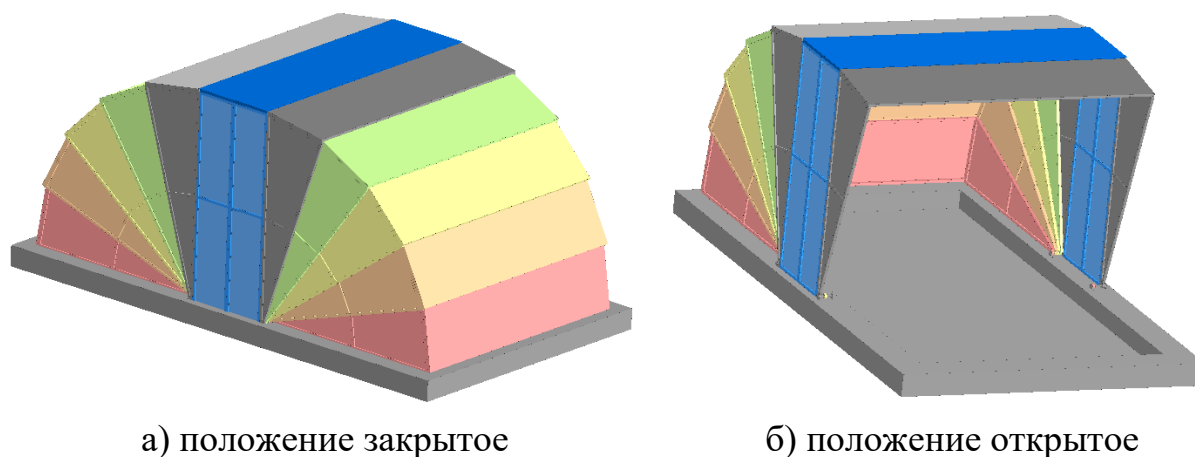


Рисунок 1 – Конструкция «Саркофага»

Основу конструкции составляет полусферический купол, выполненный в форме половины шара, что обеспечивает оптимальное распределение механических нагрузок и устойчивость к внешним воздействиям. Конструкция состоит из четырех пар подвижных лепестков, которые могут плавно раскрываться и закрываться с помощью автоматизированных приводов. В закрытом состоянии лепестки образуют герметичную оболочку, предотвращающую выделение свалочного газа, распространение запахов и проникновение атмосферных осадков. В открытом состоянии они обеспечивают свободный доступ для обслуживающей техники и проведения мониторинговых мероприятий.

Материалы для изготовления саркофага выбираются с учетом долговечности и устойчивости к агрессивным средам — это могут быть композитные покрытия, усиленные полимеры или металлические конструкции с антикоррозийной защитой. Автоматизация управления реализуется через систему датчиков, отслеживающих давление, деформации, концентрацию газов (метан,  $\text{CO}_2$ , сероводород) и температурный режим [3, 4].

Ключевые преимущества такой системы включают надежную герметизацию закрытых секций полигона, оперативный доступ для обслуживания без трудоемкого демонтажа, а также возможность интеграции с системами сбора и утилизации биогаза. Дополнительно на внешнюю поверхность купола могут устанавливаться солнечные панели для автономного энергоснабжения, а интеллектуальные алгоритмы анализа данных способны прогнозировать процессы дегазации и оптимизировать работу полигона.

Этот механизм предполагает создание герметичного покрытия, которое изолирует отходы от внешней среды.

Структура «Саркофага» приведена на рисунке 2.

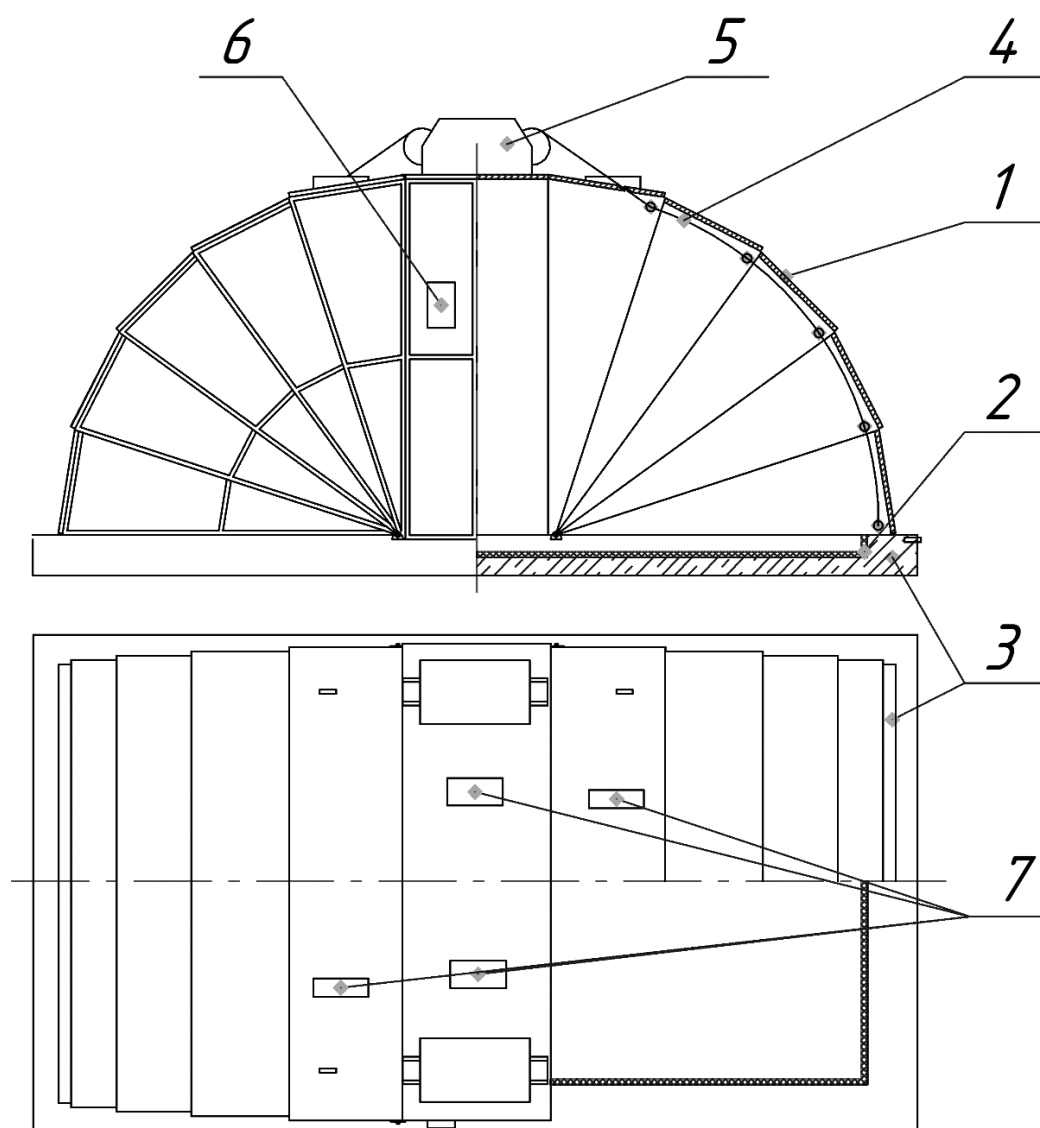


Рисунок 2 – Структура «Саркофага»

1 – складывающиеся лепестки, 2- геомембрана, 3 - защитный слой,  
4 – металлический трос, 5 – двигатель, 6 – контроллер, 7 - система  
мониторинга

Из рисунка 2 видно, что конструкция автоматизированного саркофага для полигонов ТБО представляет собой сложную инженерную систему, ключевым элементом которой являются складывающиеся лепестки (1). Эти сегменты, выполненные из легких композитных материалов с антикоррозийным покрытием, формируют полусферическую оболочку. Их шарнирное соединение позволяет осуществлять плавное раскрытие и закрытие конструкции посредством приводных механизмов.

Основу герметизирующего слоя составляет геомембрана (2) из полиэтилена высокой плотности, характеризующаяся высокой химической стойкостью. Данный материал обеспечивает надежную гидро- и газоизоляцию, предотвращая миграцию фильтрата и эмиссию свалочных газов в окружающую среду. Поверх мембраны располагается многослойная защитная система, включающая геотекстильное полотно для распределения нагрузок и дренажный слой для отвода жидких фракций.

Для обеспечения структурной целостности конструкции применяется система металлических тросов (4) из оцинкованной стали. Эти элементы выполняют функцию силовых стяжек, обеспечивающих стабильность геометрии купола в закрытом состоянии и равномерное распределение механических напряжений.

Приводная система (5), состоящая из электромеханических или гидравлических двигателей, обеспечивает кинематику движения лепестков. Управление процессами открытия и закрытия осуществляется посредством программируемого контроллера (6), который дополнительно выполняет функции диагностики состояния конструкции.

Интегрированная система мониторинга (7) представляет собой комплекс из газоаналитического оборудования, тензометрических датчиков и температурных сенсоров. Получаемые параметры в реальном времени передаются по проводным/беспроводным каналам связи, что позволяет осуществлять оперативный контроль за состоянием изолированных отходов и самой конструкции [5].

Такой подход позволяет предотвратить возгорание, минимизировать выбросы вредных веществ и создать условия для безопасности территории и окружающей среды [6].

Для обеспечения пожарной безопасности на полигоне ТБО предлагается следующая схема автоматизации, которая включает в себя систему пожарной сигнализации и механизм закрытия секций по типу саркофага. Схема состоит из нескольких взаимосвязанных модулей:

1. Система пожарной сигнализации

Датчики температуры и задымления: устанавливаются по периметру каждой секции полигона для мониторинга температуры и уровня задымления.

Газоанализаторы: контролируют концентрацию метана и других горючих газов, которые могут привести к возгоранию.

Камеры видеонаблюдения: обеспечивают визуальный контроль за состоянием секций.

Центральный блок управления: получает данные от датчиков и камер, анализирует их и принимает решения о включении сигнализации или активации механизма закрытия.

## 2. Механизм закрытия секции (саркофага)

Герметичное покрытие. Состоит из защитного слоя грунта или бетона, а также изоляционных материалов.

Автоматизированные приводы. Управляют процессом укладки и фиксации покрытия.

Система мониторинга. Контролирует состояние закрытой секции, включая давление, температуру и уровень газов.

Алгоритм работы системы приведен на рисунке 3.

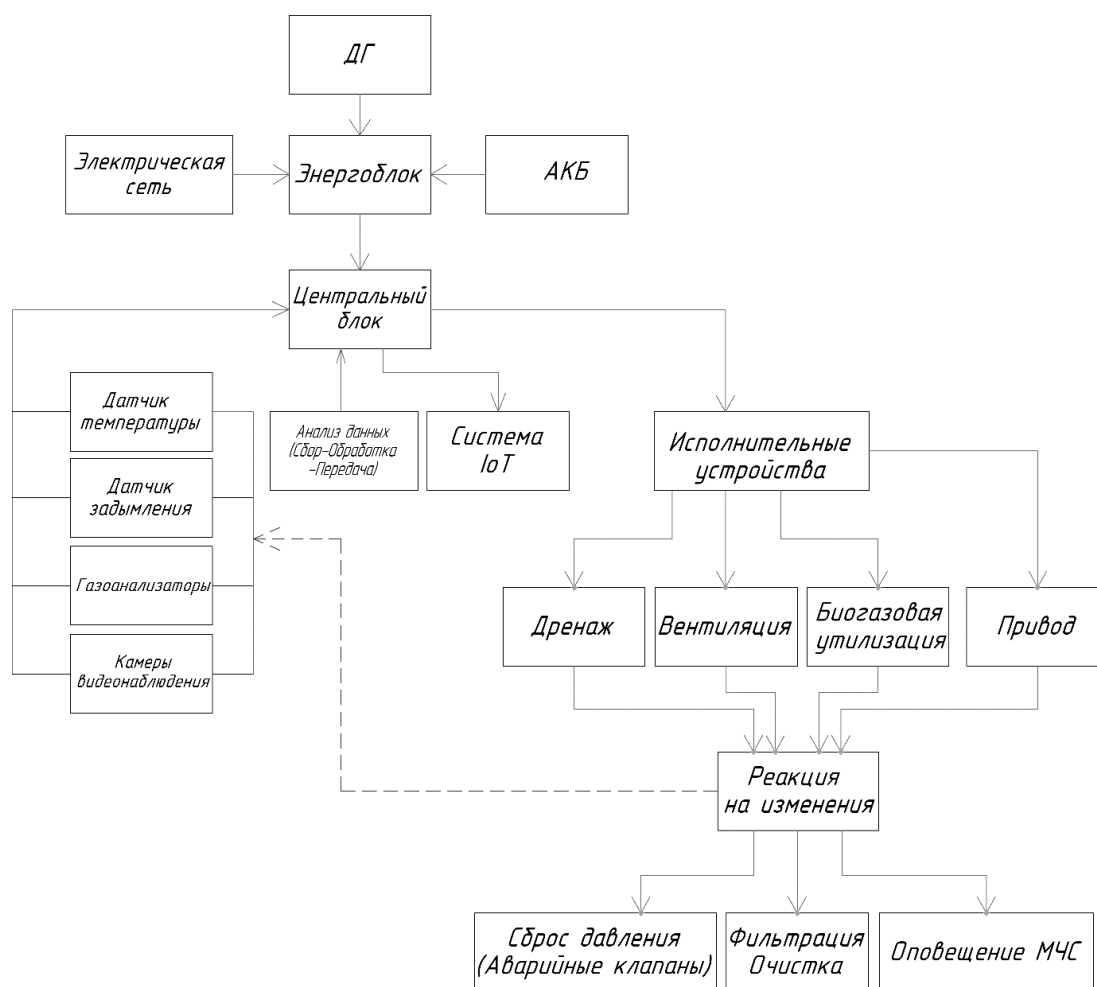


Рисунок 4 – Алгоритм работы системы

Многоуровневая система мониторинга, включающая сеть датчиков и видеокамер, осуществляет непрерывный контроль параметров внутренней среды в секции полигона. При обнаружении критических отклонений температурного режима, появления дыма или опасной концентрации газов, автоматика идентифицирует потенциальную угрозу и инициирует протокол аварийного реагирования.

Первичным этапом становится активация тревожной сигнализации, включающей комплекс звуковых и световых оповещающих устройств, что позволяет оперативно привлечь внимание обслуживающего персонала к возникшей нештатной ситуации.

При подтверждении угрозы возгорания система автоматически приводит в действие механизм герметизации проблемной зоны. Электромеханические приводы последовательно закрывают сегментированные лепестки, создавая герметичный барьер, который эффективно локализует очаг возгорания и предотвращает распространение продуктов горения в окружающую среду.

Параллельно с процессами локализации осуществляется автоматическая рассылка тревожных сообщений в специализированные службы экстренного реагирования. Система передает точные координаты аварийной секции и текущие параметры опасных факторов, что позволяет оперативным подразделениям МЧС и пожарной охраны максимально быстро и эффективно организовать мероприятия по ликвидации чрезвычайной ситуации.

#### Преимущества системы

1. Отсутствие необходимости выкапывать котлован для захоронения остатков что положительно влияет на окружающую среду, исключая риск утечки вредных веществ в почву и грунтовые воды
2. Это делает новый тип полигона более экологичным и безопасным решением по сравнению с традиционными методами захоронения отходов.
3. Оперативность. Автоматическое закрытие секции происходит в кратчайшие сроки, минимизируя последствия возгорания.
4. Минимизация человеческого фактора. Система работает автономно, снижая вероятность ошибок.
5. Экологическая безопасность: Изоляция секции предотвращает выброс токсичных веществ в окружающую среду.
6. Масштабируемость. Схема может быть адаптирована для полигонов любого размера.
7. Повышение уровня пожарной безопасности за счет изоляции отходов.
8. Снижение негативного воздействия на окружающую среду.
9. Возможность использования автоматизированных систем для мониторинга и управления.
10. Уменьшение рисков для здоровья населения.

#### Недостатки системы:

1. Необходимость регулярного технического обслуживания.
2. Высокая стоимость строительства и эксплуатации саркофагов.
3. Ограниченный срок службы изоляционных материалов.
4. Возможность повреждения конструкции в результате внешних воздействий.

Автоматизация полигонов ТБО, включая разделение на секции и использование саркофагов для их закрытия, является перспективным направлением для повышения пожарной безопасности. Несмотря на высокие

затраты, такой подход позволяет значительно снизить риски возгорания и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Внедрение автоматизированных систем мониторинга и управления полигонами должно стать приоритетной задачей для обеспечения устойчивого развития городов и защиты экологии. Предложенная схема автоматизации позволяет эффективно решать задачи пожарной безопасности на полигонах ТБО. Интеграция пожарной сигнализации и механизма закрытия секций обеспечивает оперативное реагирование на угрозы, минимизирует риски для окружающей среды и персонала, а также способствует устойчивому развитию инфраструктуры полигонов.

### Список литературы

1. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».
2. Попова, Е. А. Направление решения проблем пожарной безопасности мусорных полигонов / Е. А. Попова, Н. В. Семенов, И. В. Яковлев // Холодильная техника, инженерные системы и биотехнологии: Сборник тезисов VI Национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 03 мая – 05 2024 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2024. – С. 315-318. – EDN EDOLNS.
3. Костарев С. Н., Середа Т. Г. Комплексное внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами на санитарных полигонах твердых бытовых отходов // Экологические системы и приборы. – 2014. – №. 4. – С. 20-28.
4. Ивушкин А. А. и др. Система автоматизации комплекса сортировки твердых бытовых отходов. – 2009.
5. Хохрякова Я. С. Использование информационных технологий для автоматизации системы учета твердых бытовых отходов на полигонах захоронения // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2013. – Т. 2. – С. 414-425.
6. Яковлев, И. В. Обеспечение пожарной безопасности в сельских населенных пунктах / И. В. Яковлев, Н. В. Семенов, Е. А. Попова // Пищевые технологии : Сборник тезисов III Международного Симпозиума, посвященного 90-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ, основателя научной школы Льва Александровича Остроумова, Кемерово, 20–21 сентября 2024 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2024. – С. 565-567. – EDN VBXHER.