



МРНТИ 73.49.99

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-146-1-57-74>

Обзорная статья

## Совершенствование комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ при оперировании твердо-бытовыми отходами

Н.У. Тастемир<sup>1</sup>, Н.К. Булатов\*<sup>2</sup>, И. Менендес Пидаль<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

<sup>3</sup>Мадридский политехнический университет, Мадрид, Испания

(E-mail: <sup>1</sup>Tastemir.Nu@mail.ru, <sup>2</sup>nurzhan\_b\_80@mail.ru, <sup>3</sup>ignacio.menendezpidal@upm.es)

**Аннотация.** Актуальность данной статьи состоит в том, что в наши дни образование отходов стало глобальной проблемой. В недавнем прошлом рост населения заметно увеличил скорость образования отходов, а его утилизация и управление представляют собой серьезную экологическую проблему во всем мире. Под управлением отходами понимают комплекс мероприятий по сбору, сортировке, транспортировке с применением эффективной комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ. Цель данной статьи состоит в том, чтобы изучить самые современные методы комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ при сборе, сортировке и перевозке твердо-бытовых отходов. Лучшим методом для изучения этой проблемы является метод анализа, он даёт возможность исследовать максимальное количество источников для предоставления лучших результатов. В статье изучаются последние достижения в этой области, такие, как методы автоматизации, географическая информационная система и GPS, дистанционное зондирование, методы системной инженерии, наиболее применяемая в развитых странах пневматическая система транспортировки отходов, а также предлагается модель нового мусоропровода многоэтажных, высотных жилых и общественных зданий. Анализ показал, что приложения GPS в основном использовались для отслеживания мусорных баков и транспортных средств для сбора мусора, чтобы контролировать время и место сбора. Методы GPS и ГИС вместе работают лучше, чем отдельно. А пневматическая система транспортировки отходов имеет ряд существенных недостатков, которые можно исправить, используя новую модель мусоропровода многоэтажных, высотных жилых и общественных зданий.

**Ключевые слова:** коммунальные отходы, сортировка мусора, транспортировка отходов, твердо-бытовые отходы, местное управление отходами.

## 1. Введение

С ежегодным ростом численности населения, по оценкам, к 2050 году во всем мире будет проживать 9,9 миллиарда человек [1]. Этот рост населения поставил под угрозу возможность городов качественно управлять городскими твердыми бытовыми отходами. К 2050 году более 50% всего населения мира будет проживать в городских районах [2]. Это растущее население заметно увеличило скорость производства отходов в недавнем прошлом. Например, по данным Всемирного банка, общая сумма образования ТБО почти удвоилась за последнее десятилетие до 1,2 кг в день на душу населения с 0,64 кг. В отчете также прогнозируется дальнейшее увеличение производства твердых отходов на 20% к 2025 году. В настоящее время города мира производят более 1,3 млрд тонн ТБО в год. Прогнозируется, что эта цифра увеличится на 100% в 2030 году из-за быстрой урбанизации и изменения моделей потребления и образа жизни [3].

Проблема является серьезной в развивающихся странах, где проживает более семидесяти процентов всего населения мира из-за быстрого роста населения и урбанизации, отсутствия финансирования и политики, а также плохих и нерегулярных услуг по управлению отходами [4 – 6]. Экспорт мусора из жилых, административных и коммерческих пространств в городах считается необходимой логистической и оперативной задачей. Управление отходами, как правило, считается функцией районного самоуправления и нередко является большим бюджетом мегаполиса. В значительной мере управление стремительным ростом объемов отходов во многом находится в зависимости от технического оснащения системы городского хозяйства, которая занята удалением из городской экосистемы всех образующихся отходов производства и потребления. Техническим оснащением в предоставленном случае считается присутствие в достаточном числе оснащенных пунктов сбора отходов, транспортных средств для их перевозки, мусороперегрузочных и мусоросортировочных станций, полигонов сбережения и захоронения отходов, квалификация сотрудников и т.д.

Для совершенствования комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ, при оперировании твердо-бытовыми отходами рассмотрено применение методов системной инженерии, дистанционного зондирования, ГИС и GPS, пневматической системы транспортировки отходов, а также модель нового мусоропровода многоэтажных, высотных жилых и общественных зданий. Введение в эксплуатацию данных методов и технологий позволит повысить эффективность и оптимизирует погрузочно-разгрузочные работы при сборе, сортировке и перевозке твердо-бытовых отходов.

## 2. Методология

В основу данной научно-исследовательской, фундаментально изученной работы легло качественное, надежное соединение проверенных теоретических методов (анализ, синтез, конкретизация, обобщение, моделирование), и эмпирических методов (изучение опыта работы мировых организаций и их опыт в данной или похожей сфере с применением схожих материалов).

Теоретическую базу данной научной работы составляют преимущественно тематические исследования, состоящие из научно-практических, научно-исследовательских и обзорных научных статей, включающие в себя экспериментальные методы. Анализы, статистики и прочие виды работ зарубежных исследователей, взятых из официальных источников с достоверной информацией, направленных на изучение большого ряда проблемных вопросов, с которыми можно столкнуться в процессе применения освещенных методов, связанных с управлением твёрдыми бытовыми отходами и их спецификацией.

Представленная работа была выполнена в три основных этапа:

Подготовлена основная теоретическая база, на анализе которой строится основа для дальнейших выводов. На первом этапе научного исследования был выполнен поиск и анализ различных достоверных источников информации. Было рассмотрено большое количество информационных ресурсов, данные из которых были изучены и систематизированы для упрощенного, быстрого и качественного понимания информации. Был произведен системный анализ, который включал в себя подробное изучение возможных методов комплексной автоматизации и механизации погрузочно-разгрузочных работ, при сборе, сортировке и перевозке твёрдо-бытовых отходов.

Выполнено аналитическое сравнение и углубление в материалы изученных работ других ученых, сравнение их между собой. В большей мере в них входили статистика, теоретическая информация и описания опыта применения различных методов и технологий комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ при сборе, сортировке и перевозке твердо-бытовых отходов. Анализировались, проверялись и уточнялись выводы, полученные в ходе исследовательской работы.

Проведена проработка материалов, уточнены теоретические и практические выводы, обобщены, проверены, и систематизированы полученные данные. Результаты, полученные в ходе данного проведенного научного исследования, а также сформулированные на их основании выводы, могут быть использованы в дальнейшем как эффективная научная база для изучения и применения новых и усовершенствованных по многим параметрам методов и технологий механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ при сборе, сортировке и транспортировке твёрдо-бытовых отходов.

### **3. Результаты и обсуждение**

В последнее время для решения экологических проблем широко используются различные модели системной инженерии. Например, модели исследования затрат и выгод использовались для оценки положительных и отрицательных экономических последствий. Отдельная модель анализа затрат и выгод может преобразовать экологические аспекты в финансовые условия. Модели оптимизации использовались для получения наилучшего решения среди нескольких вариантов с учетом набора целей. С. Шмелев и Дж. Пауэлл [7] представили анализ многокритериальной модели оптимизации для достижения цели устойчивого обращения с ТБО (твёрдыми бытовыми отходами) в региональном масштабе. Подход учитывал пространственное и временное

распределение производства и переработки ТБО. Кроме того, он рассмотрел финансовое и экологическое воздействие на биоразнообразие и благополучие. Типичная модель оптимизации состоит в основном из целевой функции и некоторых ограничений, при которых модель работает.

Модели прогнозирования использовались для описания потоков отходов и создания системы контрольных данных для сбора данных о вероятном образовании отходов и других связанных переменных, таких, как численность населения, уровень дохода и размер домохозяйства. А модели разработки сценариев использовались для создания теоретических групп событий, созданных для того, чтобы сосредоточиться на основных прогрессиях и точках суждения. Эти модели могут исследовать события, связанные с обращением с твердыми отходами. Инструменты и модели оценки воздействия на окружающую среду использовались для практики принятия решений, касающихся действий, которые могут повлиять на окружающую среду [8]. Инструменты социально-экономической оценки состоят из компьютерных моделей, которые применяют скоординированную рыночную стратегию для систем управления отходами. Эти модели позволяли учитывать сборы за продукцию, кредиты на переработку и сборы с пользователей при принятии решений в системах ТБО. В типичном моделировании обращения с отходами данные о твердых отходах сначала собираются для создания базы данных, а затем выполняется расширение базы данных, за которым следует ввод данных во входные файлы. Затем модель анализирует входные файлы для получения результатов.

Объем производства ТБО увеличивается с ростом населения и потребления, и это является основным фактором устойчивого роста и стратегического планирования. Однако правильная оценка производства ТБО является сложной задачей из-за несогласованности системы и факторов, зависящих от времени, таких, как социально-экономические и демографические критерии. Это особенно сложно в развивающихся странах, где согласованная информация обычно недоступна, а оценка отходов обычно проводится с помощью исследований объемного веса или материального баланса. Однако эти системы недостаточны для точной оценки образующихся отходов. Таким образом, необходимо использовать нелинейные методы, такие, как искусственный интеллект, для прогнозирования надлежащего образования отходов. Надлежащее управление схемой обращения с отходами необходимо для поддержки как окружающей среды, так и благополучия человека. А. Пирес и др. [9] представили систематический обзор литературы по различным методам системного анализа, таким, как модели и инструменты для организации отходов в европейских странах. Расследование показало, что инструменты и модели системного анализа дадут возможность разработать улучшенные подходы управления бытовыми отходами, ведущие к соответствию последним контрольным показателям Европейского Союза.

В системах устойчивого управления отходами инструменты оценки системы используются для сбора и предложения потоков данных, для распознавания экологических эффектов в схеме устойчивого управления отходами, связанных с перемещением токсинов, для оценки стратегий управления отходами, для оценки вариантов решения проблемы, принимая и оценивая этапы производства отходов

относительно перспектив. Исследователи во всем мире использовали различные методы оптимизации, такие, как смешанное целочисленное программирование и нечеткое параметрическое моделирование, для решения проблем устойчивого управления отходами в условиях сложной неопределенности. Совместное использование информационных и коммуникационных технологий (ИИКТ) и методов оптимизации устойчивого управления отходами (УУО) сведет к минимуму управленческие усилия, время, затраты и выбросы загрязняющих веществ.

Эффективность схемы организации отходов может быть увеличена за счет наилучшего использования информационных и коммуникационных технологий [3]. Существуют различные системы для использования ИИКТ в управлении отходами [10], например, системы, основанные на технологиях хранения данных, в которых датчики расстояния и изображения устанавливаются в мусорных баках, системы, основанные на технологиях классификации, в которых метки со штрих-кодом крепятся на мусорные баки для отслеживания и системы на основе геопространственных технологий, в которых ДЗ (дистанционное зондирование), GPS (система глобального позиционирования) и ГИС (геоинформационная система) используются для отслеживания местоположения мусорных баков. Эти технологии также использовались для выбора места, планирования и оценки отходов, оптимизации маршрута и сбора, отслеживания транспортных средств и оценки воздействия на окружающую среду. Технологии передачи данных обычно используются во всех вышеперечисленных системах для облегчения передачи обработанных данных, прогресс в ИИКТ и сенсорных технологиях сделал мгновенный мониторинг мусорных баков более удобным и осуществимым.

Космические аппараты ДЗ Земли используются для изучения природных ресурсов планеты и решения задач метеорологии. Дистанционное зондирование обычно относится к эффективному использованию достижений бортового обнаружения объектов на земле, издалека, посредством передачи сигнала со спутников. Использование ДЗ в УУО было сделано для размещения полигонов для захоронения отходов, оценки экологического воздействия отходов и мониторинга полигонов. К. Янг и др. [11] разработали схему размещения полигонов путем изучения выбросов от полигонов для захоронения бытовых отходов. Исследователи использовали базу данных ГИС в сочетании с ДЗ для пяти свалок в городских районах городов Сучжоу и Уси в Китае. Ранее М. Олуик и др. [12] использовали спутниковые данные и аэрофотоснимки для изучения подходящих мест захоронения отходов в подземных коридорах. Позже ученые NASA использовали данные, полученные с полевых датчиков и спутников Aqua и Terra, для экологического исследования. Они изучили состояние загрязнения и восстановления для экологической оценки захоронения отходов.

Платформа географических данных выделяется среди наиболее широко используемых устройств для наблюдения за географической информацией, также используется в более узком смысле как инструмент (программного продукта), позволяющий пользователям искать, анализировать и редактировать как цифровую карту местности, так и дополнительную информацию об объектах [13]. ГИС широко используется для решения различных проблем ТБО. Чаще всего она используется для размещения

полигонов и перегрузочных станций. А. Озкан и др. [14] говорили об использовании ГИС для прогнозируемого планирования на основе данных и оптимизации маршрутизации. Исследователи также использовали методологию, связанную с ГИС, для оценки производства ТБО с учетом местных демографических и социально-экономических данных. Н. Карадимас и др. [15] использовали отслеживание автопарка с помощью пространственно-временного анализа в среде ГИС для разработки структуры УУО для расчета общих расходов и жизнеспособных вариантов.

Геопространственные методы постепенно использовались в течение последних нескольких десятилетий в качестве основного инструмента пространственного решения для размещения свалок. Были предложены различные подходы и методы на основе ГИС для оценки подходящих свалок. В некоторых исследованиях использовалась многокритериальная оценка на основе ГИС. В. Зеленович и др. [16] использовали теорию нечетких множеств в среде ГИС. В [8] выполнено пространственное исследование на основе ГИС с оптимизационной моделью для определения местоположения подходящей площадки для размещения пунктов вывоза мусора. Благодаря своей простоте взвешенная линейная комбинация является широко распространенным методом многокритериальной оценки.

Также существуют исследования геопространственного метода с целью оптимизации маршрута сбора отходов, которая может быть проведена с использованием метода на основе ГИС со схемой мониторинга грузовиков, анализ сети ГИС для оптимизации маршрута с целью минимизации расхода топлива общественным транспортом и сокращения выбросов углекислого газа, трехмерное исследование пространственных данных на основе ГИС для минимизации использования топлива за счет сокращения маршрута, использование ГИС для оптимального выбора места расположения мусорных баков и размещения отходов для их максимального использования.

GPS стал более полезным в сочетании с технологиями ГИС. Стало возможно использование приемника GPS, установленного на грузовике, и пространственном исследовании на основе ГИС для сбора пространственной информации для картирования, отслеживания и планирования процесса. Точно так же [17] выполнили анализ данных процесса в сочетании с данными GPS и ГИС для минимизации пути. [18] использовали датчик для определения запаха газа на свалке отходов. Исследование количественно определило запах газа с использованием датчика оксида олова. Кроме того, [19] использовали инфракрасный датчик для обнаружения загрязняющих веществ, содержащихся в отходах керамического стекла. Позже был использован бортовой GPS-приемник для сбора информации об отходах во время движения грузовиков и перегрузочных станций.

Благодаря такому сочетанию стало возможно использование GPS для пространственного анализа и сбора данных о ТБО для разработки политики по увеличению переработки ТБО. А также возможность провести исследование с использованием GPS-приемника для отслеживания грузовиков и мусорных баков, чтобы выявлять нерегулярных клиентов. В этом исследовании GPS вместе с другими коммуникационными технологиями был установлен на грузовиках, и система была подключена к удаленному серверу.

Традиционные системы управления бытовыми отходами основаны на сборе и хранении отходов в мусорных баках до их сбора и транспортировки местным агентством по обращению с отходами. Хотя эти системы действительно гибкие, у них есть важные недостатки и воздействие на окружающую среду, такие, как запахи из-за накопления отходов в мусорных баках, проблемы с гигиеной, шум, заторы на дорогах и выбросы парниковых газов от мусоровозов, используемых для перевозки отходов [20]. Поэтому в последние годы становится популярной установка пневматической системы подземного сбора.

Аппараты пневматической системы транспортировки используются для транспортировки отходов из жилых многоэтажных массивов и различных учреждений. Мусор через загрузочные посты засасывается в систему отводящих труб и движется в воздушном потоке к месту накопления. Типичным для них является то, что для достижения разности давлений используется вакуумный аппарат, в котором разрежение в транспортной трубе аппарата обеспечивается генераторами вакуума, например, вакуумными насосами или эжекторным аппаратом. В транспортной трубе обычно имеется по меньшей мере один клапанный элемент, открытием и закрытием которого регулируется поступающий в трубу подпиточный воздух. Отходы транспортируются по трубопроводу на довольно большое расстояние до пункта сбора отходов, который обычно находится за пределами населенного пункта. Со станции отходов отходы далее транспортируются на свалку, например, мусоровозами.

В 2019 году в рамках программы HDB Greenprint в 38 кварталах поместья Юйхуа были опробованы системы пневматической транспортировки отходов, направленные на создание более чистой, экологичной и устойчивой окружающей среды. Автоматизированная система пневматической транспортировки отходов использовала всасывание воздуха для транспортировки бытовых отходов (со скоростью 50–80 км/час) по замкнутой подземной сети трубопроводов (диаметром 1/2 метра и длиной 4,6 км) на центральную станцию сбора [21]. Весь процесс сбора отходов был автоматизирован без открытой обработки отходов, что позволило еще больше сократить потребность в ручном труде и мытье мусоропровода, свести к минимуму разложение отходов и решить проблемы с неприятным запахом, вредителями и утечками при сборе отходов. С точки зрения устойчивого управления отходами, система может поддерживать разделение отходов для переработки. Но остались проблемы в отношении социальных установок и действий – неправильная утилизация крупногабаритных отходов в систему по-прежнему создавала риск выхода из строя системы, засорения подземных труб и увеличения риска засоров, вызывающих неприятные запахи.

Транспортировка отходов на большие расстояния по трубопроводу на практике нерентабельна. Обычно на всасывании имеется перепад давления менее 1 бар (на практике 0,1-0,4 бар). Небольшая разница давлений требует, чтобы скорости потока в трубопроводе были рассчитаны на высокие скорости, чтобы материал, предназначенный для транспортировки по трубопроводу, перемещался. Поскольку отходы, проходящие по трубе, имеют неравномерную герметичность, размер и форму, в трубопроводе создается байпасный поток, в результате чего вакуумные генераторы/всасывающие устройства, создающие всасывание, должны быть рассчитаны на чрезвычайно большую мощность.

Для сравнительного анализа достоинств и недостатков представленных направлений развития оперированием твердо-бытовыми отходами за последние 10 лет, сведем их в таблицу 1, где отражены слабые стороны данных направлений развития и к каким результатам приведут применяемые технологии.

**Таблица 1.**  
**Направления развития оперирования твердо-бытовыми отходами за последние 10 лет**

№ п/п	Направления развития оперирования ТБО	Слабые стороны	Конечный результат
1	Н1 – Искусственный интеллект для прогноза образования ТБО	Дороговизна разработок, связанных с ИИ и требующих дальнейших исследований	КР1 – машинное обучение, оперирование большими объемами данными, глубокий анализ и быстрый вывод данных по эффективному распределению ресурсов
2	Н2 – ИКТ для оптимизации УУО	Требуются детально разработанные и учитывающие все нюансы конструкции, позволяющие легко оптимизировать УУО по собранным данным ИКТ	КР2 – интегрирование и распределение всей информации, ПО и распределение по сетям и оборудованию системы обеспечения функционирования жизненного цикла ТБО
3	Н3 – АСУ (различные датчики и сенсоры по расстоянию, позиционированию, устройства считывания штрих-кодов и т.д.)	Требуются конструкции по комплексной механизации и автоматизации всего процесса	КР3 – комплекс аппаратных и программных средств для управления различными процессами функционирования жизненного цикла ТБО
4	Н4 – ИКТ для мониторинга, оптимизации сбора для эффективного применения транспортных средств	В основном во всех пунктах вывоза ТБО идет синхронный временной цикл, что совершенствование ограничивается только построением последовательного маршрута ТС	КР2
5	Н5 – ДЗ в УУО путем мониторинга полигонов ТБО	Учитывая постоянный рост численности населения, данное направление ведет к отсрочке достижения критической точки по заполняемости полигонов и не устраняет в целом проблему системы	КР4 – получение и сбор информации об объектах, без физического контакта, расположенных на больших расстояниях на поверхности Земли. Собранный информация отправляется в пункт(ы) обработки информации по жизненному циклу ТБО



6	Н6 – Определение мест и объемов расположения мусорных баков с помощью ГИС, учитывающие демографию и социально-экономические данные местности жилого массива	Эффективен только на промежутке между пунктами вывоза и до точки доставки ТБО на утилизацию. Не решает проблемы всего жизненного цикла ТБО.	КР5 – система сбора, хранения, анализа и графической визуализации объектов жизненного цикла ТБО на пространственных (географических) данных. Данная система эффективна для оценки фактического состояния изучаемых объектов и придачи им оптимальных дальнейших действий, маршрутов
7	Н7 –Конструкционные наработки герметичности мусорных баков и эффективности погрузочно-разгрузочных работ их в мусоровозы	Решает проблемы, возникающие только на месте вывоза ТБО, также не решает проблемы всего жизненного цикла ТБО.	КР6 – эффективное функционирование систем и оборудования в жизненном цикле ТБО, так как имеют проработанные конструкторские особенности.
8	Н8 – Применение инновационных систем пневмотранспорта для комплексной механизации и автоматизации транспортировки ТБО	Отходы, проходящие по трубе, неравномерны по размеру, форме, сложности создания полной герметичности как упаковок, так и всей системы. В трубопроводной системе создается байпасный поток, в результате вакуумные генераторы рассчитываются на чрезвычайно большие мощности, то есть более энергозатратны.	КР7 – комплексная механизация и автоматизация всего промежутка жизненного цикла ТБО
Примечание: выбраны направления развития оперировании ТБО по исследованиям собранных материалов, по публикациям, представленным в открытом доступе (Open Access) в базе Scopus и на материалах, отраженных в доступных библиотечных и интернет-ресурсах.			

Влияние всех вышепредставленных исследований на развитие управляемости, эффективности при оперировании твердо-бытовыми отходами однозначно приведет к совершенствованию системы оперирования твердо-бытовыми отходами. При этом каждая из направлений развития оперирования твердо-бытовыми отходами имеет свои слабые стороны, которые приведут к сложности выполнения или невыполнимости задания, которые требуют синхронности развития всех других направлений и их целенаправленности к конечным результатам. Для графического отражения информации, отраженной в таблице 1, диаграмма жизненного цикла по оперированию твердо-бытовыми отходами представлена на рисунке 1.

Жизненный цикл оперирования ТБО



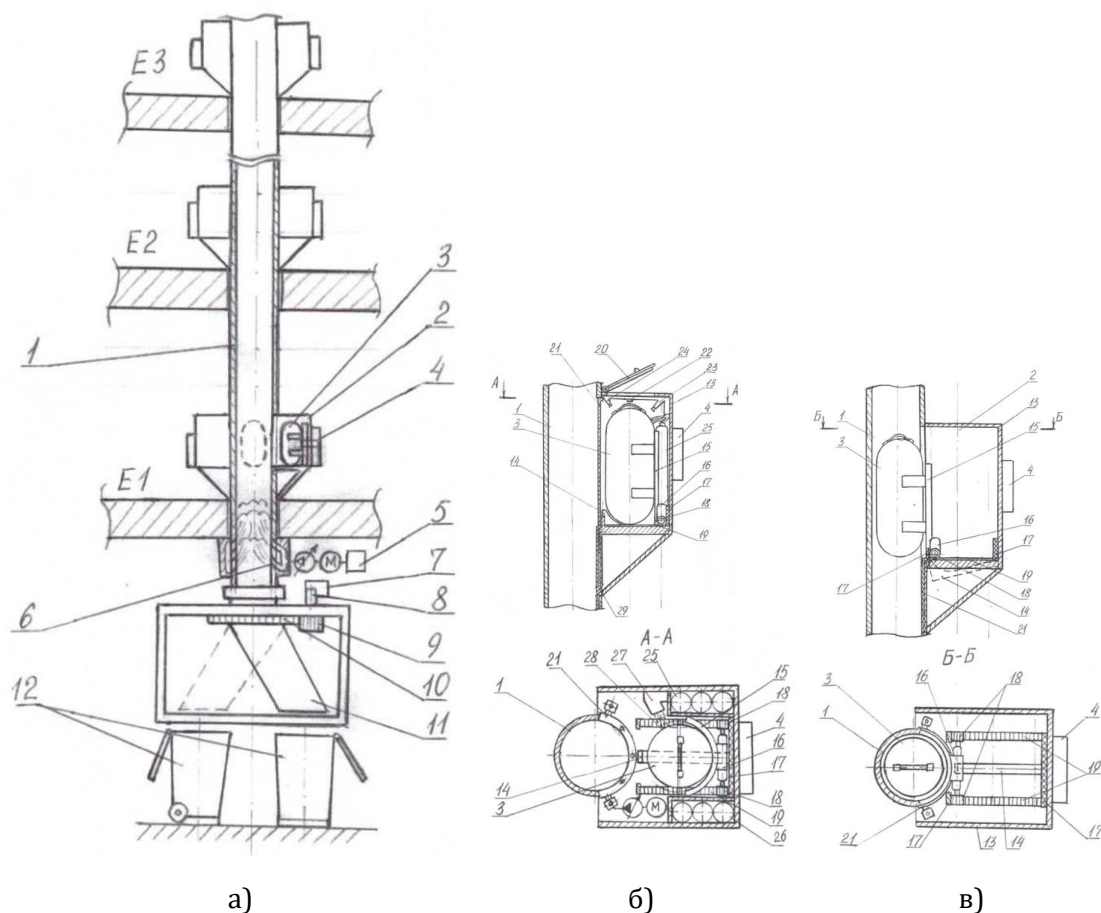
Рисунок 1. Жизненный цикл по оперированию ТБО и их направления развития.

Примечание: составлено авторами

Одним из путей достижения всех представленных конечных результатов является комплексное применение данных направлений и переосмысление всей технологии с предоставлением новых конструкторских и технологических решений по оперированию твердо-бытовыми отходами.

Построение новых конструкторских и технологических решений исходит из недостатков ранее разработанных технологий, систем и конструкций и предоставление новых устройств, устраняющих данные недостатки, но при этом сохранение преимуществ ранних разработок даст значительное развитие технологиям оперирования твердо-бытовыми отходами, так как новые технологии и инновации остаются важнейшим инструментом решения проблемы обращения с отходами. Существует перспектива развития новых методов автоматизации управления коммунальными отходами, возможность совмещения проверенных методов с совершенно новыми конструкциями систем транспортировки, в которых устранены недостатки предыдущих схем.

С учетом того, что транспортировка отходов пневмотранспортирующими трубопроводами является нерентабельной, с большими энергозатратами на создание необходимого давления и силы всасывания, а также трудности правильного подбора форм трассы и сохранения полной герметичности, предлагается конструкция по патенту на изобретение РК №34150 [22], основной вид которого представлен на рисунке 2.



а – основной вид мусоропровода; б – загрузочное устройство в положении с загруженной мусоросборочной упаковкой, наполненной мусором, и в разрезе А-А; в – загрузочное устройство, в положении выталкивания мусоросборочной упаковки в канал ствола мусоропровода.

### Рисунок 2. Мусоропровод многоэтажных, высотных жилых и общественных зданий

Примечание: [22]

Сортировка, сбор и транспортировка мусора по данному мусоропроводу проводится только мусоросборочной упаковкой (тарой) в виде капсулы, наполненной мусором, изготавливаемой из материалов, близких по свойствам при переработке с видами отходов, например, биопластик для сбора органических отходов, пластик для сбора пластиковых изделий, картон для сбора бумаги и картона, стеклопластик для сбора стекла и отдельно из материала, в дальнейшем перерабатываемого в строительный материал для сбора пыли, остатков песчаных и глинистых строительных материалов.

Для выявления закономерностей функционирования и расчета конструкционных параметров определено, что для данного мусоропровода, по исследованиям авторов, применимы закономерности расчета таких машин непрерывного транспорта, которые

рассматриваются в гравитационных конвейерах (груз транспортируется с применением силы гравитации), пневматических транспортерах (применяется поток воздуха для гашения скорости падения груза) и является основой диссертационной работы на тему «Исследования по разработке вертикальных пневмотрубчатых конвейеров для транспортировки твердых бытовых отходов».

Задачей изобретения является создание системы эффективного сбора, сортировки и транспортировки ТБО, состоящей из мусоропровода с улучшенными характеристиками и мусоросборочной упаковки в виде капсулы, наполненной мусором, конфигурация которой не позволяет сцепляться, застревать и засоряться, и легко проходит по каналу ствола мусоропровода.

Техническим результатом данной разработки является полуавтоматизированный сбор и полная сортировка по видам твердых бытовых отходов с мусоросборочной упаковкой, соответствующей виду ТБО для дальнейшей эффективной обработки, сортировка и транспортировка мусора до точки вывоза из здания или за пределы здания. Повышение пожаробезопасности и дезинфекция мусоропровода гарантируется путем определения и локализации объектов (мусоросборочных упаковок в виде капсулы с мусором) возгорания или загрязнения в загрузочном устройстве, с помощью системы самодезинфекции и автоматического пожаротушения, тем самым повышая условия техники безопасности. Также присутствует возможность учета и отслеживания выносимых отходов, что, кроме прочего, позволит вести точную систему оплаты. Установка позволяет повысить эффективность переработки отходов с наименьшей сортировкой на производстве и с возможностью вторичного применения тары [22].

Данная система подает большие перспективы развития и усовершенствования современных методов удаления твердых бытовых отходов. Его преимуществом перед пневмотранспортирующими трубопроводами являются наиболее низкие энергозатраты и отсутствие необходимости создания больших давлений в системе, так как при транспортировке груза применяются неэнергозатратные силы гравитации, низковольтные сервоприводы для выталкивания мусоросборочных упаковок в мусоропровод и пневмосистема в конце участка транспортировки для гашения скорости падения груза, позволяющая сохранить груз в целости и сохранности. Расчетные параметры по данной установке будут представлены в дальнейших исследованиях.

#### **4. Выводы**

Данное исследование показало, что решения по обращению с отходами должны быть доступными и экономичными. Система удаления отходов из многоэтажных жилых массивов и коммерческих помещений должна быть закрытой, встроенной в здание, насколько это возможно, и способной обеспечить безопасные условия эксплуатации. Кроме того, для тех частей системы, которые не могли быть технологически закрыты, должен был быть ряд социальных и технологических приспособлений.

Анализ литературы показал, что технологии дистанционного зондирования и геоинформационные системы в УУО в основном использовались для размещения полигонов и перегрузочных станций для захоронения отходов, оценки эколог-

ического воздействия закрытых отходов и мониторинга полигонов отходов. Эти геопространственные методы также использовались в рамках моделирования для многокритериальной оценки и оптимизации путей транспортировки отходов. Исследование также показало, что приложения глобальной системы позиционирования в основном использовались для отслеживания мусорных баков и транспортных средств для сбора мусора, чтобы контролировать время и место сбора. Кроме того, анализ показал, что комбинированные приложения GPS и ГИС работают лучше, чем их обычные вариации.

Пневматическая система транспортировки ТБО показала, что, несмотря на свою эффективность и экономию определенных ресурсов, потребляет огромное количество энергии и требует большого обслуживания.

Новые технологии и инновации остаются важнейшим инструментом решения проблемы обращения с отходами. Существует перспектива развития новых методов автоматизации управления коммунальными отходами, возможность совмещения проверенных методов с совершенно новыми конструкциями систем транспортировки, в которых устранены недостатки предыдущих схем, одна из них - конструкция по патенту на изобретение РК №34150, позволяющая осуществить эффективную комплексную механизацию и автоматизацию погрузочно-разгрузочных работ при оперировании с твердо-бытовыми отходами.

### **Подтверждения**

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант ИРН AP14871293, договор 271/30-22-24 от 18.10.2022), а также является промежуточным результатом выполнения диссертационной (PhD) работы Тастемир Н.У.

### **Вклад авторов**

**Н.У. Тастемир** – внес существенный вклад по сбору данных, материалов и литературы по теме исследования, проводя их анализ и интерпретацию результатов исследования по совершенствованию комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ, при оперировании твердо-бытовыми отходами.

**Н.К. Булатов** – участвовал в разработке концепции работы и написании текста статьи с изложением аналитических данных, обеспечивая целостность всех частей статьи.

**И. Менендес Пидаль** – участвовал в критическом пересмотре содержания статьи и в утверждении окончательного варианта для публикации.

### **Список литературы**

1. Перспективы мирового народонаселения на 2019 год: Пересмотр базы данных о населении. – Организация Объединенных Наций, 2020. <https://population.un.org/wpp/>.

2. Sharma B., Vaish B., Singh U.K., Singh P., Singh R.P. Recycling of organic wastes in agriculture: an environmental perspective // International Journal of Environmental Research. –2019. – Vol. 13, – P. 409–429.
3. Agacsapan B., Cabuk S.N. Determination of suitable waste transfer station areas for sustainable territories: Eskisehir case // Sustainable Cities and Society. –2020. – Vol. 52 (January). – №101829.
4. Heidari R., Yazdanparast R., Jabbarzadeh A. Sustainable design of a municipal solid waste management system considering waste separators: a real-world application // Sustainable Cities and Society. – 2019. – Vol. 47(19). – №101457.
5. Hoke M., Yalcinkaya S. Municipal solid waste transfer station planning through vehicle routing problem-based scenario analysis // Waste Manage Res. – 2021. – Vol. 39(1). – P. 185–196.
6. Zhang T. Temperature and gas pressure monitoring and leachate pumping tests in a newly filled MSW layer of a landfill // International Journal of Environmental Research. – 2019. – Vol. 13. – P. 1–19. – DOI 10.1007/s41742-018-0157-01.
7. Shmelev S., Powell J. Ecological-economic modeling for strategic regional waste management systems // Ecological Economics. – 2006. – Vol. 59(1). – P. 115–130.
8. Ghosh M., Chouhan D., Kamra A., Sharma V. Sustainable utilization of potato industry waste for antifungal biopolymer production by *Lactobacillus helveticus* and its application on pomegranates (*Punica granatum L.*). – 2021. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00120-2>
9. Pires A., Martinho G., Chang N. Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques // Journal of Environmental Management. – Vol. 92. – Issue 4. – 2011. – P. 1033–1050. – DOI 10.1016/j.jenvman.2010.11.024.
10. Rathore P., Sarmah SP. Modeling transfer station locations considering source separation of solid waste in urban centers: a case study of Bilaspur city, India. // Journal of cleaner production. – Vol. 211. – 2019. – P. 44–60. – DOI 10.1016/j.jclepro.2018.11.100.
11. Yang K., Zhou X., Yan W., Hang D., Steinmann P. Landfills in Jiangsu province, China, and potential threats for public health: leachate appraisal and spatial analysis using geographic information system and remote sensing // Waste Management. – Vol. 28(12). – 2008. – P. 2750–2757.
12. Oluic M., Romandic S., Schaller A. Remote sensing and geophysical survey in site investigations for special waste disposal: Case study Trgovska Gora (Croatia) // Environmental Science, Geology. – 2006. – P. 199 – 206. <http://www.earsel.org/symposia/2005-symposium-Porto/pdf/025.pdf>.
13. Madi N., Srour I. Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS // Resources Conservation and Recycling. – Vol. 141. – 2019. – P. 163–175. – DOI 10.1016/j.resconrec.2018.10.018.
14. Ozkan A., Altan M., Banar M., Ayday C. Optimization of solid waste collection and transportation routes by using GIS. // WSEAS Transactions on Environment and Development. – Vol. 2(10). – 2006. – P. 1322–1327.
15. Karadimas N., Loumos V. GIS-based modelling for the estimation of municipal solid waste generation and collection // Waste Management & Research. – Vol. 26(4). – 2008. – P. 337–346
16. Zelenovic V., Srdjevic Z., Bajcetic R., Vojinovic M. GIS and the analytic hierarchy process for regional landfill site selection in transitional countries: a case study from Serbia // Environmental Management. – Vol. 49(2). – 2012. – P. 445–458.
17. Apaydin O., Gonullu M. Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study. // Global NEST J. – Vol. 9(1). – 2007. –P. 6–11.
18. Micone P., Guy C. Odour quantification by a sensor array: an application to landfill gas odours from two different municipal waste treatment works. // Sens Actuators B: Chem. – Vol. 120(2). – 2007. –P. 628–637.

19. Serranti S., Bonifazi G., Pohl R. Spectral cullet classification in the midinfrared field for ceramic glass contaminants detection. // Waste Manage Res. – Vol. 24(1). - 2006. – P. 48–59.
20. Madden B. Spatial modelling of municipal waste generation: deriving property lot estimates with limited data. – 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105442>
21. Belinda Y., Jane M. Jacobs Down the Vertical Refuse Chutes in Singapore High-rise // Living Regional Development Dialogue. – Vol. 32(2). – 2011. – P. 85-98.
22. Булатов Н.К., Булатова Ж.Т. Мусоропровод многоэтажных, высотных жилых и общественных зданий. // Patent RK №34150. – 2021. <http://gosreestr.kazpatent.kz/>

**Н.У. Тастемир<sup>1</sup>, Н.К.Булатов\*<sup>2</sup>, И. Менендес Пидаль<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>3</sup>Мадрид политехникалық университеті, Мадрид, Испания

### **Қатты тұрмыстық қалдықтармен жұмыс істеу кезінде тиеу-түсіру жұмыстарын кешенді механикаландыру мен автоматтандыруды жетілдіру**

**Андатпа.** Мақаланың өзектілігі – бүгінгі күні пайда болған қалдықтардың жаһандық проблемаға айналуын дәйектеу. Халық санының өсуі қалдықтардың пайда болу жылдамдығын едәуір арттырды. Оларды кәдеге жарату және басқару бүкіл әлемде үлкен экологиялық проблема тудырып отыр. Қалдықтарды басқару - тиеу-түсіру жұмыстарын кешенді механикаландыру мен автоматтандыруды қолдана отырып, жинау, сұрыптау, тасымалдау жөніндегі іс-шаралар кешені. Бұл мақаланың мақсаты қатты тұрмыстық қалдықтарды жинау, сұрыптау және тасымалдау кезінде тиеу-түсіру жұмыстарын кешенді механикаландыру мен автоматтандырудың ең заманауи әдістерін зерттеу болып табылады. Аталмыш мәселені зерттеудің ең оңтайлы әдісі – талдау әдісі. Бұл әдіс жақсы нәтиже беру үшін зерттеу жан-жақты жүргізілуі тиіс. Мақалада автоматтандыру әдістері, геоақпараттық жүйе және GPS, қашықтықтан зондтау, жүйелік инженерия әдістері, дамыған елдерде ең көп қолданылатын пневматикалық қалдықтарды тасымалдау жүйесі сияқты осы саладағы соңғы жетістіктер зерттеледі. Сонымен қатар көпқабатты тұрғын және қоғамдық ғимараттардың жаңа қоқыс шығару моделі ұсынылады. Талдау көрсеткендей, GPS қосымшалары негізінен жинау уақыты мен орнын анықтау үшін қоқыс жәшіктері мен қоқыс жинайтын көліктерді бақылауды жүзеге асырады. GPS және ГАЗ әдістері кешенді қолданған кезде, жұмыс нәтижелі болады. Ал қалдықтарды тасымалдаудың пневматикалық жүйесі көп қабатты тұрғын үй мен қоғамдық ғимараттардан қоқыс шығарудың жаңа моделін қолдану арқылы түзетуге болатын бірқатар кемшіліктерге ие.

**Түйін сөздер:** коммуналдық қалдықтар, қоқыстарды сұрыптау, қалдықтарды тасымалдау, қатты тұрмыстық қалдықтар, жергілікті қалдықтарды басқару.

**N.U. Tastemir<sup>1</sup>, N.K.Bulatov\*<sup>2</sup>, I. Menendez Pidal<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

<sup>3</sup>*Polytechnic University of Madrid, Madrid, Spain*

### **Improvement of complex mechanization and automation of loading and unloading operations, when handling solid household waste**

**Abstract.** The relevance of this article is that, nowadays, waste generation has become a global problem. In the recent past, population growth has noticeably increased the rate of waste generation, and its disposal and management are a serious environmental problem worldwide. Waste management is understood as a set of measures for collection, sorting, transportation, with the use of effective complex mechanization and automation of loading and unloading operations. The purpose of this article is to study the most modern methods of complex mechanization and automation of loading and unloading operations during the collection, sorting and transportation of solid waste. The best method to study this problem is the analysis method, it makes it possible to explore the maximum number of sources to provide the best results. The article examines the latest achievements in this field, such as automation methods, geographic information system and GPS, remote sensing, system engineering methods, the pneumatic waste transportation system most used in developed countries, and also proposes a model of a new garbage chute for multi-storey, high-rise residential and public buildings. The analysis showed that GPS applications were mainly used to track garbage cans and garbage collection vehicles to monitor the time and place of collection. GPS and GIS methods work better together than separately. And the pneumatic waste transportation system has a number of significant drawbacks that can be corrected by using a new model of a garbage chute for multi-storey, high-rise residential and public buildings.

**Keywords:** municipal waste, garbage sorting, waste transportation, solid waste, local waste management.

#### **References**

1. World Population Prospects 2019: Revision Population – United Nations, 2020. <https://population.un.org/wpp/>.
2. Sharma B., Vaish B., Singh U.K., Singh P., Singh R.P. Recycling of organic wastes in agriculture: an environmental perspective // International Journal of Environmental Research. –2019. – Vol. 13, – P. 409-429.
3. Agacsapan B., Cabuk S.N. Determination of suitable waste transfer station areas for sustainable territories: Eskisehir case // Sustainable Cities and Society. –2020. – Vol. 52 (January). – №101829.
4. Heidari R., Yazdanparast R., Jabbarzadeh A. Sustainable design of a municipal solid waste management system considering waste separators: a real-world application // Sustainable Cities and Society. – 2019. – Vol. 47(19). – №101457.
5. Hoke M., Yalcinkaya S. Municipal solid waste transfer station planning through vehicle routing problem-based scenario analysis // Waste Manage Res. – 2021. – Vol. 39(1). – P. 185–196.
6. Zhang T. Temperature and gas pressure monitoring and leachate pumping tests in a newly filled MSW layer of a landfill // International Journal of Environmental Research. – 2019. – Vol. 13. – P. 1–19. – DOI 10.1007/s41742-018-0157-01.



7. Shmelev S., Powell J. Ecological-economic modeling for strategic regional waste management systems // *Ecological Economics*. – 2006. – Vol. 59(1). – P. 115–130.
8. Ghosh M., Chouhan D., Kamra A., Sharma V. Sustainable utilization of potato industry waste for antifungal biopolymer production by *Lactobacillus helveticus* and its application on pomegranates (*Punica granatum L.*). – 2021. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00120-2>
9. Pires A., Martinho G., Chang N. Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques // *Journal of Environmental Management*. – Vol. 92. – Issue 4. – 2011. – P. 1033–1050. – DOI 10.1016/j.jenvman.2010.11.024.
10. Rathore P., Sarmah SP. Modeling transfer station locations considering source separation of solid waste in urban centers: a case study of Bilaspur city, India. // *Journal of cleaner production*. – Vol. 211. – 2019. – P. 44–60. – DOI 10.1016/j.jclepro.2018.11.100.
11. Yang K., Zhou X., Yan W., Hang D., Steinmann P. Landfills in Jiangsu province, China, and potential threats for public health: leachate appraisal and spatial analysis using geographic information system and remote sensing // *Waste Management*. – Vol. 28(12). – 2008. – P. 2750–2757.
12. Oluic M., Romandic S., Schaller A. Remote sensing and geophysical survey in site investigations for special waste disposal: Case study Trgovska Gora (Croatia) // *Environmental Science, Geology*. – 2006. – P. 199 – 206. <http://www.earsel.org/symposia/2005-symposium-Porto/pdf/025.pdf>.
13. Madi N., Srour I. Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS // *Resources Conservation and Recycling*. – Vol. 141. – 2019. – P. 163–175. – DOI 10.1016/j.resconrec.2018.10.018.
14. Ozkan A., Altan M., Banar M., Ayday C. Optimization of solid waste collection and transportation routes by using GIS. // *WSEAS Transactions on Environment and Development*. – Vol. 2(10). – 2006. – P. 1322–1327
15. Karadimas N., Loumos V. GIS-based modelling for the estimation of municipal solid waste generation and collection // *Waste Management & Research*. – Vol. 26(4). – 2008. – P. 337–346
16. Zelenovic V., Srdjevic Z., Bajcetic R., Vojinovic M. GIS and the analytic hierarchy process for regional landfill site selection in transitional countries: a case study from Serbia // *Environmental Management*. – Vol. 49(2). – 2012. – P. 445–458.
17. Apaydin O., Gonullu M. Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study. // *Global NEST J.* – Vol. 9(1). – 2007. – P. 6–11.
18. Micone P., Guy C. Odour quantification by a sensor array: an application to landfill gas odours from two different municipal waste treatment works. // *Sens Actuators B: Chem.* – Vol. 120(2). – 2007. – P. 628–637.
19. Serranti S., Bonifazi G., Pohl R. Spectral cullet classification in the midinfrared field for ceramic glass contaminants detection. // *Waste Manage Res.* – Vol. 24(1). – 2006. – P. 48–59.
20. Madden B. Spatial modelling of municipal waste generation: deriving property lot estimates with limited data. – 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105442>
21. Belinda Y., Jane M. Jacobs Down the Vertical Refuse Chutes in Singapore High-rise // *Living Regional Development Dialogue*. – Vol. 32(2). – 2011. – P. 85–98.
22. Bulatov N.K., Bulatova Z.T. Garbage chute of multi-store, high-rise residential and public buildings. // Patent RK №34150. – 2021. <http://gosreestr.kazpatent.kz/>

### Сведения об авторах:

**Тастемир Н.У.** – докторант по специальности «Транспорт, транспортная техника и технологии», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Кажымукана, 13, 010000, г. Астана, Республика Казахстан, 8-775-987-85-02, Tastemir.Nu@mail.ru.

**Булатов Н.К.** – автор для корреспонденции, к.т.н., старший преподаватель, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Кажымукана, 13, 010000, г. Астана, Республика Казахстан, 8-705-430-75-38, nurzhan\_b\_80@mail.ru.

**Менендес Пидаль И.** – доктор философии, профессор, Мадридский политехнический университет, г. Мадрид, Испания, +34 609 06 59 39, ignacio.menendezpidal@upm.es.

**Тастемир Н.У.** – «Көлік, көліктік техника және технологиялар» мамандығы бойынша докторант, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КЕАҚ, Қажымұқан к-сі 13, 010000, Астана қ-сы, Қазақстан Республикасы, 8-775-987-85-02, Tastemir.Nu@mail.ru.

**Булатов Н.К.** – хат-хабар үшін автор, т.ғ.к., аға оқытушы, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КЕАҚ, Қажымұқан к-сі 13, 010000, Астана қ-сы, Қазақстан Республикасы, 8-705-430-75-38, nurzhan\_b\_80@mail.ru.

**Менендес Пидаль И.** – философия докторы, профессор, Мадрид политехникалық университеті, Мадрид қ., Испания, +34 609 06 59 39, ignacio.menendezpidal@upm.es.

**Tastemir N.U.** – doctoral student in the specialty "Transport, transport equipment and technologies", L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhmukhan str. 13, 01000, Astana, Kazakhstan, 8-775-987-85-02, Tastemir.Nu@mail.ru.

**Bulatov N.K.** – corresponding author, Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhmukhan str. 13, 01000, Astana, Kazakhstan, 8-705-430-75-38, nurzhan\_b\_80@mail.ru.

**Menendez Pidal I.** – PhD, professor, Polytechnic University of Madrid, Madrid, Spain, +34 609 06 59 39, ignacio.menendezpidal@upm.es.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).