



## Разработка энергоэффективного роторно-инерционного устройства по брикетированию твёрдых бытовых отходов (ТБО)



Виталий САВИНКИН



Виктория КУЗНЕЦОВА



Айгуль АБИЛЬМАЖИНОВА

*Савинкин Виталий Владимирович* – Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан.

*Кузнецова Виктория Николаевна* – Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия.

*Абильмажинова Айгуль Сериковна* – Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, Казахстан, Петропавловск\*.

На сегодняшний день серьёзную проблему для всего мира представляют увеличивающиеся объёмы твёрдых бытовых отходов (ТБО). Решением данной проблемы является вовлечение вторичного сырья и отходов в производственный оборот. Важным этапом в утилизации ТБО являются трудоёмкие процессы его сбора и транспортировки. Агрегаты специализированного мусоровоза при перевозке мусора работают не энергоэффективно, только по функционалу прессования в бесформенную массу, не подлежащую сортировке и переработке. Предлагаемое внедрение агрегатов с совмещёнными функциями «погрузки–направления–измельчения–прессования–брикетирования» существенно снизит энергоёмкость процесса перевозки за счёт переработки и брикетирования мусора в момент его транспортировки. Научно-техническая проблема состоит в разработке методики технического переоснащения спецтехники повышенной эффективности при заданных номинальных энергетических и мощностных характеристиках машин. Решить данную проблему предложено совмещением регенеративных систем с повторным использованием энергии сил тяжести собственных масс мусора. Цель работы заключается в разработке роторно-инерционного устройства с пониженной энергоёмкостью. Применены методы аналитико-статистического исследования модельного ряда спецтехники с анализом его технических характеристик, для разработки кинематической схемы

брикетирующего устройства произведён расчёт, основанный на методе моделирования структуры составных агрегатов. Моделирование производилось в программе SolidWorks в прикладном пакете Simulation.

Разработанные кинематические схемы узлов и агрегатов брикетирования и прессования мусора функционируют при номинальных мощностных характеристиках гидрооборудования за счёт распределения мощности привода по наиболее энергонагруженным операциям.

Представлено обоснование эффективности разработанного роторно-инерционного устройства по брикетированию ТБО. Оригинальность конструкции заключается в структурном расположении брикетирующего агрегата и механизма измельчения. Использование принципов инерционных моментов и сил тяжести собственной массы мусора позволило существенно (на 25 %) снизить энергоёмкость процесса прессования и формирования готового брикета. Использование механической энергии натяжителей транспортёрной ленты и увеличивающейся при брикетировании массы рулона под собственным весом позволило снизить работу, затрачиваемую для формирования прессованного ТБО с 48000 кДж до 11970 кДж, удалось снизить объём спрессованного рулона, повысить коэффициент использования грузоподъёмности, снизить энергоёмкость процесса.

**Ключевые слова:** твёрдые бытовые отходы (ТБО), утилизация ТБО, брикетирование, роторное устройство, энергоэффективность транспортировки.

\* Информация об авторах:

**Савинкин Виталий Владимирович** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспорта и машиностроения Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан, [cavinkin7@mail.ru](mailto:cavinkin7@mail.ru).

**Кузнецова Виктория Николаевна** – доктор технических наук, профессор, декан факультета нефтегазовой и строительной техники Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета, Омск, Россия, [dissovetsibadi@bk.ru](mailto:dissovetsibadi@bk.ru).

**Абильмажинова Айгуль Сериковна** – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры транспорта и машиностроения Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан, [aiika\\_89\\_89@mail.ru](mailto:aiika_89_89@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 16.01.2020, принята к публикации 28.02.2020.

For the English text of the article please see p. 48.

**Р**ациональное использование ресурсного потенциала экономики развитых и развивающихся стран (Россия, Казахстан, Бельгия, Великобритания, Германия, Китай, Япония и т.д.) на основе снижения материалоемкости выпускаемой продукции, бережного расходования сырья, топлива, энергии, вовлечения в хозяйственный оборот отходов производства и вторичных ресурсов становится одной из актуальных проблем в современных условиях [1]. Бурное развитие научно-технического прогресса за последнее столетие привнесло в жизнь общества немало благ, которые способствовали повышению уровня и комфортности жизни, улучшению благосостояния людей.

Существуют годовые нормы накопления ТБО на человека, в России это примерно 225–250 килограммов в год. Для сравнения, в развитых европейских странах, таких как: Бельгия, Великобритания, Германия, Дания, Италия, Нидерланды, Швеция, Швейцария, Япония — этот показатель уже в 1995–1996 годах достигал 340–440 килограммов, в Австрии и Финляндии этот показатель выше 620 кг, а в США давно превысил 720 кг на человека в год [1, с. 91; 4, с. 134].

Для индустриально развитых стран серьезную проблему представляют увеличивающиеся объёмы (до 200 млн м<sup>3</sup>) [6, с. 188–189] твёрдых бытовых отходов (ТБО). Исходя из этого, масса накапливаемых ТБО, даже по отдельным городам [4–6], не говоря о стране в целом, достигает гигантских величин, поэтому размещение и обезвреживание отходов — серьёзная практическая проблема.

Вовлечение вторичного сырья и отходов в производственный оборот обеспечивает также значительный экологический и социальный эффект: сокращается ущерб от загрязнения окружающей среды различными видами отходов, высвобождаются земли, занятые отвалами, появляется возможность создания дополнительных рабочих мест. В этой связи возникает необходимость исследования проблем эколого-и технико-экономической эффективности использования и переработки твёрдых бытовых отходов в современных условиях. Основные технологические трудности связаны с высокой энергоёмкостью пере-

работки отходов и вредным воздействием на окружающую среду, обеспечением необходимой чистоты конечных продуктов [6–8].

Следовательно, целью исследования является повышение производительности мусороуборочных комплексов путём синхронизации основных операций и разработки энергоэффективного роторно-инерционного устройства по брикетированию твёрдых бытовых отходов.

Из научных источников [9; 10] известны исследования и перспективные технологические разработки А. А. Бутко, В. М. Лебедева, Б. И. Левина, М. С. Шерстобитова, реализованные с позиций решения отдельных вопросов этой многогранной проблемы. Однако недостаточно полно учитываются особенности качественно-количественного состава ТБО, технологического оборудования, специфических региональных факторов, в частности, природно-климатической и социально-экономической ситуации, что исключает их непосредственное тиражирование.

Технические решения управления отходами формируют существенную часть расходов. При планировании системы управления отходами нужно рассмотреть два главных вопроса:

1. Какие методы переработки или захоронения отходов будут использованы?

2. Какая плотность населения и доминирующие виды домов (многоэтажная застройка или частные дома)?

Ответы на эти вопросы определяют технологические решения сбора отходов, виды контейнеров и машин, логистику транспорта и т.д.

Чтобы обеспечить соответствующие санитарные условия, а также сбор, транспортировку и переработку отходов как вторичных ресурсов, бытовые отходы регулярно собирают от их производителей.

Система сбора бытовых отходов должна соответствовать нескольким основным условиям [11; 12]:

- должна обеспечить на определённой административной территории выполнение целей и задач, выдвинутых на государственном и региональном уровнях, требований защиты окружающей среды и здоровья, также и других местных норм и правил, относящихся к системе управления отходами;





Рис. 1. Спектр систем сбора [13].



Рис. 2. Транспортные машины для сортированных отходов EMBED PBrush [14].



Рис. 3. Многосекционный транспорт для перевозки отходов [14].

- должна гарантировать выполнение выдвинутых требований обслуживания при наиболее низких расходах;
- должна обеспечить тесное сотрудничество государства, самоуправления и частного сектора для обеспечения достижения выдвинутых целей;

- должна быть довольно эластичной, чтобы меняться и выполнять также требования дальнейших периодов использования;
- должна способствовать уменьшению отходов и их использованию как вторичного ресурса.



Рис. 4. Транспорт для сбора отходов средней грузоподъёмности с погружением сзади [14].



Рис. 5. Мусоровоз модели МКМ-2 БК [14].

Существует несколько видов сбора отходов [11; 12]. Однако доминируют два основных: так называемые «принеси и положи» (стационарные системы контейнеров) и «оставь на краю тротуара» (сбор запакованных отходов по графику в определённое время). Эти системы отличаются плотностью места сбора, их расположением по отношению к пользователю и степенью использования транспорта (рис. 1).

В зависимости от вида и объёма собираемых сортированных отходов используют различные типы контейнеров и транспортировочных машин.

Для непосредственного сбора отходов и перевозки на небольшие расстояния в густонаселённых районах используют мусороуборочные машины средней грузоподъёмности, с оптимальным объёмом 15–20 м<sup>3</sup> и со степенью сжатия 1:3 (рис. 4). В свою очередь, в редконаселённых деревенских районах более экономичны небольшие машины с объёмом 7,5–10 м<sup>3</sup>.

Выбор мусороуборочной машины зависит от вида отходов и условий сбора. Мусороуборочные машины отличаются видом шасси, конструкцией, а также подъёмником и устройством прессования. Мусороуборочные маши-

ны (рис. 5) в основном состоят из двух частей — тягача (кабина шофера и шасси), а также уплотнителя и накопителя отходов, размер которого для разных типов мусороуборочных машин меняется от 5 м<sup>3</sup> до 23 м<sup>3</sup>. Можно привести следующие примеры:

1. Технические характеристики: базовое шасси — ЗиЛ-433362; вместимость кузова — 9,5 м<sup>3</sup>; масса спецоборудования — 2,4 т; масса вывозимого груза — 4,350 т; коэффициент уплотнения мусора — 2–3; грузоподъёмность манипулятора — 500 кг; давление в гидросистеме — 18 МПа; габариты — 7200 х 2422 х 3300 мм; модель — ЗиЛ-508.10.

2. Технические характеристики: тип базового шасси — МАЗ-5337; вместимость кузова — 18,0 м<sup>3</sup>; масса спецоборудования — 3,7 т; грузоподъёмность манипулятора — 0,7 т; масса вывозимого мусора — 7,6 т; давление в гидросистеме — 18,0 МПа; коэффициент уплотнения мусора — 2–3.

Плотность отходов и степень прессования обуславливают размеры и вид мусороуборочных машин. Чтобы уменьшить затраты транспорта, техника сбора отходов должна быть оборудована прессом. Контейнеры, мусороуборочные машины и дру-







Рис. 6. Мусоровоз МКМ-35 БК [14].

гая инфраструктура, которая предназначена для местностей с малой степенью плотности отходов, может быть не приспособлена для более тяжёлых отходов. Доступность мест сбора отходов также влияет на выбор мусороуборочных машин. Таким образом, важным этапом в утилизации ТБО является его сбор и транспортировка.

Энергия и материальные затраты при транспортировке мусора неоправданно завышены. Существующая специальная техника по транспортировке ТБО порядка 65 % энергии (от силовой установки и гидропривода) затрачивает на перемещение собственной массы [13]. С целью эффективной транспортировки мусора необходимо решить техническую задачу по системному использованию силовых агрегатов специальной техники в процессе её движения от контейнера до полигона. Обоснованный выбор конструктивно-технологических характеристик рабочего оборудования мусоровоза, характеризующих оценку эффективности работы устройства и выявление конструктивных недостатков, реализован *методом* сравнительного анализа существующих патентов.

Для решения поставленной задачи проведён патентный поиск существующих механизмов по переработке сырья и его брикетированию на стадии сбора и транспортировки. Известно устройство для брикетирования органических бытовых отходов, включающее камеру и гидравлический пресс с прессующей плитой, гидроцилиндр пресса установлен вертикально в нижней части устройства под прессующей плитой (RU67507 U1, МПК 6 C25C122, опубл. 27.10.2007 г.) [15]. Известен пресс для брикетирования кормов, содержащий бункер, корпус с выгрузным окном и ротор

с установленными на его поверхности лопатками, размещёнными в корпусе с образованием между ними кольцевой полости (RU2347679 C1, МПК B30B11/14, опубл. 27.03.2009 г.) [16; 17]. Недостатками вышеуказанных устройств-аналогов являются невозможность их использования для брикетирования твёрдых бытовых отходов, сложность и высокая металлоёмкость их конструкции. Наличие прессовой плиты существенно снижает коэффициент использования грузоподъёмности.

Исследование ключевых факторов, влияющих на производительность машины и энергоёмкость процессов, позволило выявить недостатки в формуле изобретения патента RU67507 «Устройство для брикетирования твёрдых бытовых отходов» (опубл. 27.10.2007 г.). Разработка роторно-инерционного устройства по брикетированию ТБО основана на сочетании комплекса агрегатов по измельчению и прессованию мусора. За основу режущего и измельчающего устройства взят функциональный прототип, используемый в сельском хозяйстве — рулонный пресс-подборщик фирмы VARIANT 385-360. Устройство предназначено для сбора сена из валков с образованием рулонов прессованного сена.

Общий вид разработанного в программе SolidWorks прикладного пакета Simulation роторно-инерционного устройства представлен на рис. 7. При разработке конструкционной системы брикетирования принимались во внимание задачи функциональности спецтехники и её оборудования. Оптимальные пределы варьирования технических характеристик устройства определены методом силового расчёта при исследовании сил и моментов, создаваемых натяжителем, подающим ротором и прессующей лентой.

Разработанное роторно-инерционное устройство относится к устройствам сбора, измельчения и прессования ТБО. Прессовальная система с ремнями, армированными тканью (рис. 8), и с поперечными планками обеспечивает более высокую плотность прессования и пропускную способность, плавный ход, снижение износа и затрат на техническое обслуживание.

Комбинация резинотканевых ремней и поперечных планок идеальна для высочайшей плотности прессования [18]. Бла-

Таблица 1

Анализ технических характеристик разрабатываемого устройства

Наименование	Достоинства	Недостатки
1. Разрабатываемое роторно-инерционное устройство для брикетирования бытового мусора перед утилизацией его на полигон	Позволяет произвести первичную обработку ТБО, т.е. измельчение и прессование	Переработка несортированных отходов может привести к поломке устройства
	Снижается масса спецоборудования мусоровоза за счёт снятия толкающей (прессующей) плиты и разрыхлителя	Необходимо произвести полное переоборудование кузова
2. Рулонный пресс-подборщик фирмы Variant, модель 385-360	Позволяет произвести сбор сена с образованием рулонов плотно спрессованного сена	Не подходит для переработки других материалов
3. Рулонный пресс-подборщик фирмы Rollant, модель 355	Позволяет произвести прессование и обёртывание зерновых культур	Большая трудоёмкость в обслуживании и большая металлоёмкость

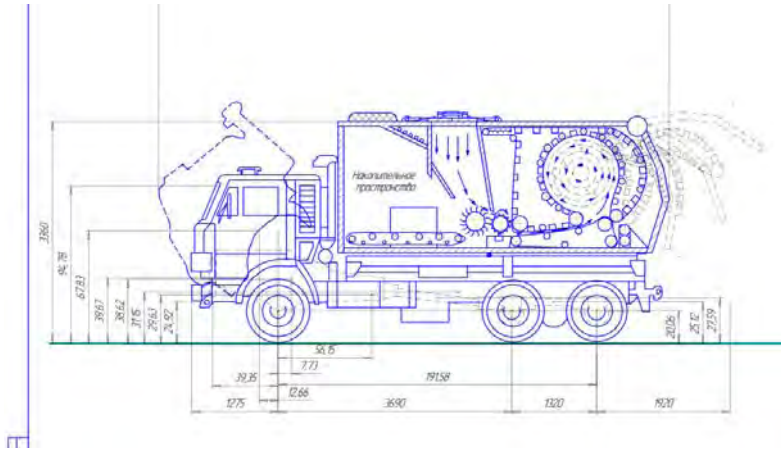


Рис. 7. Схема общего вида брикетирующего роторно-инерционного устройства на базе шасси КамАЗ КО-415 [авторская модель].

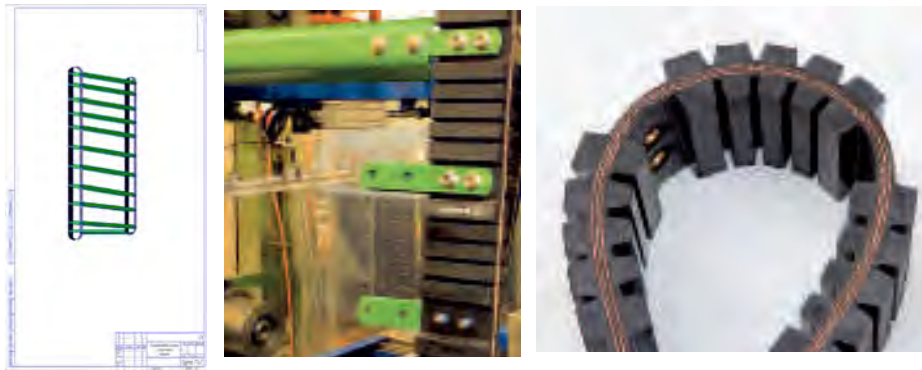


Рис. 8. Резинотканевые ремни с поперечными планками [17].

годаря высокому натяжению ремней обеспечивается надёжная динамичная передача приводного усилия. Высокая степень допустимых нагрузок обеспечивается слоями резины и ткани: вначале они сплетаются в сплошной ремень без соединительных элементов, а затем вулканизируются. В результате получается

структура, состоящая из высокопрочных тканевых прослоек из полиэфирного волокна и полиамида с наваренными с обеих сторон слоями резины. Двустороннее профилирование ремней делает их чрезвычайно эластичными и прочными, гарантируя очень большой срок службы. Такая технология обеспечивает способ-





Рис. 9. Режущий ротор брикетирующего устройства [17].

ность выдерживать высокие нагрузки в любом месте.

Роторно-инерционное устройство состоит из прессующего барабана, нижнего транспортёра, рабочей петли, верхнего натяжного ролика с холостой петлей и датчиком включения вязального устройства, ротора с четырьмя рядами зубцов из восьмимиллиметровой борсодержащей стали для оптимального захвата ТБО, режущего ротора, рассчитанного на высокие нагрузки, с 30 ножами из двойной закалённой стали и двусторонней защитой ножей. Режущий и подающий ротор диаметром 550 мм имеет особенно высокую «поглощающую способность» (рис. 9). Расположенные V-образно зубья бесперебойно протягивают ТБО через ножи. Резание с протягиванием снижает энергозатраты и повышает плавность хода. Волнообраз-

ная форма лезвия ножей обеспечивает остроту ножей в течение длительного периода времени. Двойные зубья ротора непрерывно протягивают загружаемый мусор через ряд ножей резанья. Благодаря незначительному расстоянию между ножами и двойными зубьями, отклонение материала исключено. Также роторно-инерционное устройство состоит из вязального аппарата, гидромотора, направляющей воронки и дополнительных валов, которые создают дополнительный прессующий эффект.

После разработки отдельных элементов устройства важной задачей остаётся формирование кинематической схемы данного комплекса, в которой учитываются силовые и мощностные характеристики приводных агрегатов. Роторно-инерционное устройство состоит из гидромотора, приводящего в действие сплошной план-

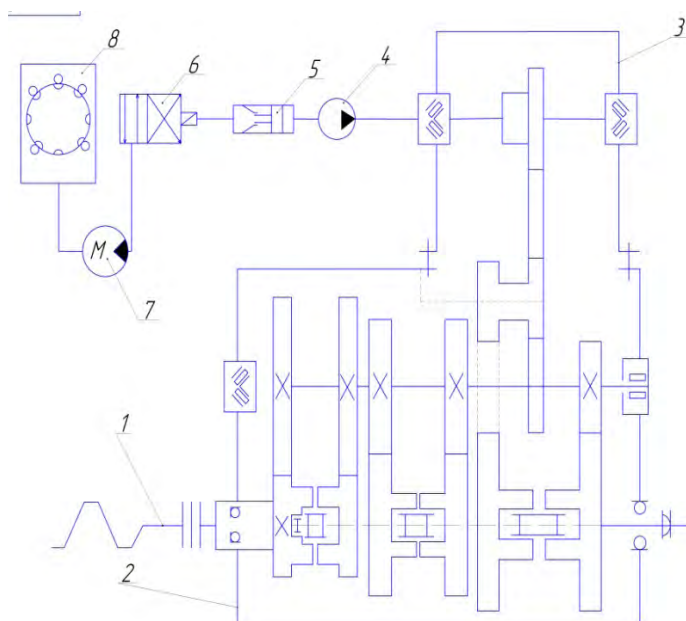


Рис. 10. Кинематическая схема брикетирующего устройства:

1 – двигатель, 2 – коробка передач, 3 – коробка отбора мощности, 4 – насос 310.256.04У1, 5 – масляный фильтр, 6 – гидрораспределитель, 7 – гидромотор, 8 – роторно-инерционное устройство [авторская схема].

чатый транспортёр с прорезиненными ремнями, который вращает и формирует брикетируемый рулон устойчивой формы. Загрузка твёрдых бытовых отходов в кузов производится при помощи манипулятора через люк в крыше кузова (пульт управления рабочими органами расположен с правой стороны автомобиля), затем захватывающим ротором ТБО подаётся на режущий ротор с ножами.

При включении гидромотора (7) начинают вращаться захватывающий и режущий роторы, которые подают измельчённый мусор на нижний транспортёр (8). На нижнем транспортере ТБО предварительно прессуется прессующим барабаном и по транспортёрной ленте подаётся в рабочую петлю. Рабочая петля изготовлена из ремней, армированных тканью, с поперечными планками. Данный материал обеспечивает более высокую плотность прессования и пропускную способность. После измельчения ТБО передаётся в зазор между прессующим барабаном и нижним транспортёром. Здесь ТБО подпрессовывается, поступает в рабочую петлю, где скручивается в рулон и окончательно прессуется за счёт эффекта скручивания. Когда рулон достигнет диаметра примерно 1,4 метра, а рабочая петля увеличится так, что холостая петля станет минимальной, её датчик введёт в действие вязальный аппарат. Вязальный аппарат обвяжет рулон выбранным материалом обвязки (шпагатом, плёнкой, сеткой). При доставке спрессованного рулона на полигон водитель при помощи пульта управления поднимет кузов, откроет задний борт и готовый рулон упадёт на землю. Затем следует опустить кузов, задний борт закрыть, тогда рабочая петля возвратится в начальное положение и процесс прессования можно повторить [18].

Для оценки эффективности предложенных мероприятий произведём расчёт эксплуатационно-технических показателей. Масса ТБО, перевозимого на мусоровозе КО-440-7 в стандартной комплектации в виде несортированного мусора, составляет две тонны. Фактическая масса всего объёма перевозимого мусора при классическом исполнении КО-440-7 составляет 1,38 тонны. Масса рулона, спрессованного на разрабатываемом устройстве, составляет 1,87 тонны.

Массу спрессованного ТБО определим по формуле [18]:

$$m = V \cdot q_{\text{упл}}, \quad (1)$$

где  $V$  — объём спрессованного ТБО (для стандартного оборудования равен  $16 \text{ м}^3$  [18, с. 26]);

$q_{\text{упл}}^{\text{станд}}$  — коэффициент уплотнения ТБО

на стандартном оборудовании, равен  $0,136 \text{ т/м}^3$  [18, с. 27];

$q_{\text{упл}}^{\text{разраб}}$  — коэффициент уплотнения ТБО

на разрабатываемом устройстве, равен  $0,25 \text{ т/м}^3$  [18, с. 27].

Объём спрессованного рулона на разрабатываемом оборудовании равен:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H, \quad (2)$$

где  $R$  — радиус спрессованного рулона ТБО;

$H$  — высота рулона.

За счёт установки нового оборудования масса перевозимых ТБО увеличивается на 490 кг.

Исходными данными для выбора гидромотора является нагрузочный момент  $M_c$  и пределы изменения частоты вращения вала гидромотора. В зависимости от заданных параметров и паспортных данных выбирают тип гидромотора. Причём необходимо, чтобы момент  $M_r$ , развиваемый гидромотором, был больше нагрузочного момента примерно на 5–10 %, а частота вращения вала гидромотора обеспечивала заданные значения. После выбора типоразмера гидромотора по максимальной частоте вращения можно рассчитать расход рабочей жидкости  $Q_r$ , потребляемой гидромотором, по зависимости [20]:

$$Q_r = q_r \cdot \frac{n_{\text{rmax}}}{\eta_{0r}}, \quad (3)$$

где  $q_r$  — рабочий объём гидромотора,  $\text{м}^3$ ;

$n_{\text{rmax}}$  — максимальная частота вращения гидромотора, мин;

$\eta_{0r}$  — КПД гидромотора.

Перепад давления в гидромоторе при нагрузочном моменте  $M_c$  определяется по формуле:

$$\Delta p_r = \frac{2 \cdot \pi \cdot M_c \cdot \eta_{0r}}{q_r \cdot \eta_{\text{общ}}}. \quad (4)$$

Давление перед гидромотором можно представить в виде суммы перепада давления на гидромоторе и потерь давления в сливной гидролинии:

$$p_r = \Delta p_r + \Delta p_c. \quad (5)$$





Сравнительные показатели эффективности разработки

Наименование параметра	Стандартный вариант		Разработанный вариант		Формула расчёта
Масса спрессованного ТБО, т	$m_{\text{станд}}^{\text{обор}}$	2,176	$m_{\text{устр}}^{\text{разаб}}$	3,077	$m = V \cdot q_{\text{упл}}$
Объём спрессованного рулона, м <sup>3</sup>	$V_{\text{станд}}$	16	$V_{\text{разр}}$	12,31	$V = \pi \cdot R^2 \cdot H$
Работа, затрачиваемая для формирования прессованного ТБО, кДж	$A_{\text{станд}}$	48 000	$A_{\text{разаб}}$	11970	$A = F \cdot b$
Время обслуживания одной контейнерной площадки с пятью контейнерами, мин	$t_{\text{маневра}}$	3–4	– // –	3–4	$\Sigma t_i$
	$t_{\text{загрузки}}$	10–12	– // –	15–18	

Потери давления в сливной гидролинии  $\Delta p_c$  обычно не превышают 0,2–0,3 МПа.

По полученным значениям  $Q_r$  и  $p_r$  выбираем гидромотор. Выбор гидромотора для разрабатываемого роторно-инерционного устройства осуществлён с учётом исходных данных: нагрузочный момент на валу гидромотора  $M_c$  составляет 8000 Н·м; частота вращения изменяется в пределах  $n_r = 10–80 \text{ мин}^{-1}$ .

Из табл. 2 [18] выбираем радиально-поршневой гидромотор типа МР-6,3/10 с номинальным развиваемым моментом  $M_r = 9520 \text{ Н·м}$ , при перепаде давления  $\Delta p_r = 10 \text{ МПа}$ , с рабочим объёмом  $q_r = 6300 \text{ см}^3/\text{об}$  и  $\eta_{or} = 0,93$ .

Расход рабочей жидкости, потребляемой гидромотором, составит  $Q_r \approx 9,02 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ , перепад давления  $\Delta p_r$  при  $M_c = 8000 \text{ Н·м}$  составит 8,35 МПа, учитывая давление на сливе  $\Delta p_c = 0,2 \text{ МПа}$ , давление перед гидромотором  $p_r = 8,55 \text{ МПа}$ .

Таким образом, расход гидромотора равен  $9,02 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$  и давление перед гидромотором  $p_r = 8,55 \text{ МПа}$ .

Как видно из расчётов, для работы гидромотора и всего приспособления необходимо давление в 8,55 МПа, а давление, необходимое для работы прессующей плиты, должно составлять не менее 12 МПа [19]. Следовательно, при установке разрабатываемого устройства на мусоровоз давление в гидросистеме можно уменьшить в 1,5 раза, и нагрузки на рабочие органы спецоборудования значительно уменьшатся.

Работа, затрачиваемая для формирования прессованного ТБО, равна:

$$A_r = F \cdot b, \quad (6)$$

где  $F$  – сила, необходимая для прессования,  $F = P$ ;

$b$  – длина прессованного ТБО.

Работа, затрачиваемая на формирование рулона на проектируемом оборудовании в четыре раза меньше, следовательно, износ прессующего и гидравлического оборудования значительно уменьшается.

Суммарное время обслуживания одной контейнерной площадки с пятью контейнерами при работе со стандартным оборудованием составляет 18 мин:

До внедрения:

- время, затраченное на манёвр  $t_{\text{маневра}} = 3–4 \text{ мин}$ ;

- время, затраченное на загрузку  $t_{\text{загрузки}} = 12–14 \text{ мин}$ .

После внедрения брикетирующего устройства:

- время, затраченное на манёвр  $t_{\text{маневра}} = 3–4 \text{ мин}$ ;

- время, затраченное на загрузку, снизилось на 5 минут, что составило  $t_{\text{загрузки}} = 9 \text{ мин}$ .

Таким образом, суммарное время обслуживания одной контейнерной площадки с пятью контейнерами при работе с разрабатываемым роторно-инерционным устройством снизилось до 13 мин.

Анализируя результаты первичного расчёта и сравнивая эксплуатационные и технологические показатели рассматриваемой и предложенной модели транспортной техники, можно косвенно оценить эффективность предложенных мероприятий. Например, при классической схеме компоновки (рис. 6) механизма прессования в МКМ-35 БК агрегат сжимает объём мусора  $V_{\text{станд}} = 16 \text{ м}^3$  до массы прессования

$m_{\text{станд}}^{\text{станд}} = 2,176$  т. В данном случае технические возможности модели МКМ-35 БК ограничены. Низкие значения прессования не позволяют сжать объём мусора до максимальных значений, обеспечивающих стопроцентное использование грузоподъёмности специальной техники. В итоге при полностью заполненном объёме мусоровоза его грузоподъёмность использована только на 70 %. Применяв предложенную схему роторно-инерционного прессования, удалось снизить объём спрессованного рулона с 16 до 12,3 м<sup>3</sup>. Такой подход позволил формировать более плотные брикеты мусора, увеличив массу прессования  $m_{\text{муср}}^{\text{разраб}}$  с 2 до 3 т, и повысить коэффициент использования грузоподъёмности  $\gamma$  с 0,69 до 0,93. Коэффициент использования грузоподъёмности  $\gamma$  определяется как отношение номинальной грузоподъёмности 2 т к фактической после модернизации конструкции (1,87 т). Что указывает на увеличение производительности одной машины на 26,3 %.

Оригинальность конструкции заключается в структурном расположении брикетирующего агрегата и механизма измельчения. Использование принципов инерционных моментов  $M_{\text{и}}$  и сил тяжести собственной массы мусора позволило существенно (на 25 %) снизить энергоёмкость процесса. Так, применение принципа использования механической энергии натяжителей транспортёрной ленты и увеличивающейся при брикетировании массы рулона под собственным весом позволило снизить работу, затрачиваемую для формирования спрессованного ТБО, с  $A_{\text{станд}} = 48000$  кДж до  $A_{\text{разраб}} = 11970$  кДж.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мубаракшина Ф. Д., Гусева А. А. Современные проблемы и технологии переработки мусора в России и за рубежом. — Известия КГАСУ. — № 4 (18) 2011. — С. 91–99.
2. Characterization of Municipal Solid Waste in the United States: 1998 Update. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 530-R-99-021, July 1999.
3. The Role of Recycling in Integrated Solid Waste Management to the Year 2000. Keep America Beautiful, Inc. 1994.72. «Trends and Forecasts: Retail Sales», U.S. Industrial Outlook 1994, U.S. Department of Commerce.
4. Пашали А. М., Абдрахманова А. З. Сравнительный анализ российского и зарубежного опыта утилизации твёрдых бытовых отходов и разработка средств повышения экологической культуры // Юный учё-

ный. — 2019. — № 8. — С. 131–135. [Электронный ресурс]: <https://moluch.ru/young/archive/28/1751/>. Доступ 02.02.2020.

5. Пушкарева А. С. Эффективные методы переработки мусора: Швеция // Молодой учёный. — 2019. — № 2. — С. 77–78.

6. Павленков М. Н., Воронин П. М. Организационно-экономические проблемы и направления утилизации отходов // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. — 2013. — № 3. — С. 188–192.

7. Mbuligwe, S. E. Institutional solid waste management practices in developing countries: A case study of three academic institutions in Tanzania, Resources, Conservation and Recycling, 2002, Vol. 35, No. 3, pp. 131–146.

8. Slack, R. J., Gronow, J. R., Hall, D. H., Voulvoulis, N. Household hazardous waste disposal to landfill: using LandSim to model leachate migration. Environmental Pollution, 2007, Vol. 146, No. 2, pp. 501–509.

9. Шерстобитов М. С., Лебедев В. М. Способы утилизации твёрдых бытовых отходов // Известия Транссиба. — 2011. — № 3 (7). — С. 79–84.

10. Левин Б. И., Бутко А. А. Использование отходов в качестве топлива путем экологически чистого обезвреживания с выработкой энергии (применительно к городскому хозяйству Москвы). — М.: Прима-Пресс, 2005. — 128 с.

11. Малыгин А. С. Разработка комплексной системы управления ТБО в жилой среде // Вестник АлтГТУ им. И. И. Ползунова. — 2010. — № 1–2. — С. 140–145.

12. Никогосов Х., Бочкова М., Мальцева С. Раздельный сбор твёрдых бытовых отходов // Коммунальщик. — 2010. — № 11. — С. 20–21.

13. Манаев К. И., Мельников А. Н. Оптимизация автомобильного и контейнерного парка при сборе и вывозе твёрдых бытовых отходов // Вестник ОГУ. — 2014. — № 10 (171). — С. 130–134.

14. Мусоровозы повышенной производительности с боковой загрузкой. Центр КОММАШ. [Электронный ресурс]: [http://www.sweeper.ru/musorovozy\\_s\\_bokovoy\\_zagruzkoj/rarz\\_enhanced\\_perform/](http://www.sweeper.ru/musorovozy_s_bokovoy_zagruzkoj/rarz_enhanced_perform/). Доступ 02.02.2020.

15. Галкин Г. Л., Служов В. Ф., Паутов Е. К., Назаров В. Ю., Иванов С. А., Тонков С. М. Патент SU № 1814618 АЗ «Брикетирующее устройство». Патентообладатель: государственный ивановский научно-производственный центр «КАРДАТЕКС». Бюл. № 17 от 07.05.1993 г.

16. Старших В. В., Максимов Е. А. Патент RU № 2507242 С1 «Способ брикетирования отходов жизнедеятельности животных и птиц и устройство для его осуществления». Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Челябинская государственная агроинженерная академия». Бюл. № 5 от 20.02.2014 г.

17. Юнчик А. П. Патент RU № 2528376 С2 РФ «Способ изготовления брикетов из измельчённой соломы и устройство для изготовления брикетов». Патентообладатель: Юнчик А. П. Бюл. № 26 от 20.09.2014 г.

18. Ризаева Ю. Н., Корчагина Т. В., Папонова А. И. Модель поиска эффективного функционирования автотранспортной социоприродноэкономической системы // Мир транспорта и технологических машин. — 2011. — № 2. — С. 25–33.

19. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. Кн. 2 / Под ред. И. В. Крагельского и В. В. Алисина. — М.: Машиностроение, 1978.

20. ОАО «Арзамасский завод коммунального машиностроения». Мусоровоз КО-440-7. Руководство по эксплуатации спецоборудования, 2006.

