

На правах рукописи



ГЕНСОН ЕВГЕНИЙ МИХАЙЛОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ТВЕРДЫХ
КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПУТЕМ УЛУЧШЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ
ЭКОНОМИЧНОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел - 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ)» на кафедре «Автомобили и технологические машины»

Научный руководитель: Лобов Николай Владимирович

доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили и технологические машины» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь

Официальные оппоненты:

Захаров Николай Степанович

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Сервис автомобилей и технологических машин» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

Трясцин Антон Павлович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Сервис и ремонт машин» ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва

Защита диссертации состоится **«20» декабря 2017 г. в 13.00 часов** на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.111.03 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» по адресу: **302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77, ауд. 426.**

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте (www.oreluniver.ru) ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» и в фундаментальной библиотеке по адресу: 302028, г. Орел, пл. Каменская, д. 1.

Автореферат разослан «09» ноября 2017 г. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (www.oreluniver.ru) и на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации (vak2.ed.gov.ru).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации направлять в диссертационный совет по адресу: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95. Телефон для справок +79155080508

Ученый секретарь диссертационного совета Д 999.111.03



А.А. Катунин

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Проблема обращения с отходами производства и потребления все острее встает в России. С развитием рыночной экономики в России и увеличением конкуренции на рынке транспортирования твердых коммунальных отходов (ТКО), каждое автотранспортное предприятие, эксплуатирующее специальные автомобили, вынуждено бороться за конкурентоспособность предлагаемых услуг. Оптимизация и сокращение материальных затрат на эксплуатацию подвижного состава (ПС) является наиболее приоритетным направлением для повышения эффективности деятельности автотранспортного предприятия (АТП). Одной из основных статей затрат на транспортирование ТКО являются затраты на горюче-смазочные материалы, в частности, на топливо. Для ведения статистической и оперативной отчетности, определения себестоимости перевозок и других видов транспортных работ, планирования потребностей предприятия в обеспечении нефтепродуктами и др. на АТП необходимо определять норму расхода топлива автомобилем. Специальные автомобили для сбора и транспортирования ТКО эксплуатируются в двух режимах: транспортном (транспортировка ТКО) и технологическом (сбор ТКО). Действующие методические рекомендации по определению нормы расхода топлива и существующие надбавки к ней, не учитывают все условия эксплуатации специальных автомобилей при работе в технологическом режиме, поэтому на АТП, нормы, как правило, рассчитываются по верхнему пределу, что не позволяет объективно выявить перерасход топлива и определить его причину. Таким образом, исследования направленные на корректировку действующих методических рекомендаций по определению нормы расхода топлива являются *актуальными*.

Степень разработанности темы исследования. Проблемам повышения эффективности и безопасности перевозок ТКО посвящены работы Моисеевой Н.М., Олимпиева А.В., Северовой Е.С., Кожевникова Е.В., Трясцина А.П. и др. Влиянию различных условий эксплуатации на топливную экономичность автомобилей посвящены научные труды Говорущенко Н.Я., Мануйлова В.Ю., Чайникова Д.А., Иванова А.С., Захарова Д.А., Евтина П.В. и др. Расход топлива специализированными автомобилями рассмотрен в работах Баловнева В.И., Карабана Г.Л., Захарова Н.С., Шакирова И.Ф. и др. Вопросу определения массы отходов, загружаемых специальным автомобилем для сбора и транспортирования ТКО в местах сбора, посвящена работа Мальцева Д.В. Однако, остаются не разработанными вопросы влияния массы загружаемых отходов на расход топлива специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО при эксплуатации в технологическом режиме.

Решение важной научно-практической задачи повышение эффективности перевозки твердых коммунальных отходов возможно путём

оперативного корректирования норм расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО.

Целью исследования является повышение эффективности перевозки твердых коммунальных отходов специальными автомобилями за счет оперативного корректирования норм расхода топлива.

Для достижения цели **поставлены и решены следующие взаимосвязанные задачи:**

1. Провести исследование современных проблем при эксплуатации специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО;
2. Провести анализ факторов, оказывающих влияние на расход топлива в технологическом режиме эксплуатации;
3. Разработать математическую модель изменения нагрузки на коленчатом валу двигателя специального автомобиля для сбора и транспортирования ТКО в технологическом режиме эксплуатации под влиянием массы поднимаемого груза с учетом специфики работы специального оборудования;
4. Провести экспериментальные исследования и установить закономерности влияния массы загружаемых отходов и оборотов двигателя базового шасси на расход топлива специальных автомобилей в технологическом режиме эксплуатации;
5. Разработать методику дифференцированного корректирования норм расхода топлива и алгоритмы практического использования разработанной методики на автотранспортном предприятии.
6. Провести технико-экономический анализ внедрения разработанной методики на автотранспортном предприятии.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является технологический процесс сбора и транспортирования ТКО, а предметом исследования – специальный автомобиль для сбора и транспортирования ТКО.

Научная новизна:

1. Математическая модель изменения нагрузки на коленчатом валу двигателя специального автомобиля для сбора и транспортирования ТКО, которая по многопараметровой характеристике двигателя устанавливает количественные показатели расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации в зависимости от массы поднимаемого груза с учетом специфики работы специального оборудования;
2. Закономерность изменения расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации специального автомобиля для сбора и транспортирования ТКО от массы поднимаемого груза и оборотов двигателя базового шасси.

Практическая значимость. Применение методики дифференцированного корректирования норм расхода топлива, позволит сократить эксплуатационные затраты автотранспортных предприятий за счет

корректного учета горюче-смазочных материалов, а также позволит оперативно выявлять перерасход топлива и определять причины его появления.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследования проблем повышения эффективности деятельности специализированных автотранспортных предприятий, связанных с перевозочным процессом ТКО;
2. Результаты анализа факторов, оказывающих влияние на расход топлива в технологическом режиме эксплуатации специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО;
3. Математическая модель изменения нагрузки на коленчатом валу двигателя специального автомобиля для сбора и транспортирования ТКО в технологическом режиме эксплуатации под влиянием массы поднимаемого груза с учетом специфики работы специального оборудования;
4. Закономерности изменения расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации;
5. Методика дифференцированного корректирования норм расхода топлива специальных автомобилей и алгоритмы ее практического использования;
6. Результаты технико-экономического анализа.

Апробация и реализация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрение: на 70-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ «Проблемы совершенствования конструкции строительных, дорожных, коммунальных и аэродромных машин» - г. Москва, МАДИ, 2012 г.; на Всероссийской научно-практической конференции «Машиностроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства» - г. Ижевск, 2012 г.; на Международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» - г. Пермь, ПНИПУ, в 2013, 2014, 2015, 2016 гг.; на Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» - г. Орел, в 2015, 2017 гг.; на Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» - г. Тюмень, 2016, 2017 гг.

Научные результаты диссертационной работы, реализованные в виде методики дифференцированного корректирования норм расхода топлива, прошли практическую проверку и внедрены на автотранспортном предприятии ООО «ВМ-Сервис» г. Перми.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта» по пункту 3 «Обоснование и разработка требований к рациональной структуре парка, эксплуатационным качествам транспортного, технологического,

погрузочно-разгрузочного оборудования и методов их оценки» и пункту 19 «Методы ресурсосбережения в автотранспортном комплексе»

Достоверность результатов обеспечивается принятой методологией исследования, включающей в себя современные научные методы: корреляционно-регрессионный анализ, планирование эксперимента, активный натурный эксперимент, а также апробацией при обсуждении результатов на международных научно-практических конференциях. Это позволило обеспечить доказательность и обоснованность разработанных подходов и полученных результатов. Достоверность методики и выводов диссертационной работы подтверждена положительными результатами при использовании и внедрении на предприятиях г. Перми.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 14 печатных работ, в том числе 3 в ведущих изданиях, из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, получен патент на полезную модель.

Структура и объем диссертационной работы. Основная часть диссертации изложена на 128 страницах, включает в себя введение, 4 главы, заключение, список использованной литературы из 100 наименований и приложения.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована основная цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «**Современные проблемы при эксплуатации и учете горюче-смазочных материалов на предприятиях коммунального транспорта**» представлена информация о тенденции изменения парка специальных автомобилей для сбора и транспортирования отходов в городе с миллионным населением, проведено исследование особенностей эксплуатации и нормирования расхода топлива специализированного транспорта.

Установлено, что каждое АТП в современных условиях вынуждено бороться за конкурентоспособность предлагаемых им услуг. Для них остро стоят проблемы повышения эффективности деятельности и оптимизации издержек, связанных с перевозочным процессом. Оптимизация и сокращение материальных затрат на эксплуатацию подвижного состава является приоритетным направлением для повышения эффективности деятельности автотранспортного предприятия.

Определен состав эксплуатационных затрат АТП, связанных с процессом сбора и транспортирования ТКО. Установлено, что затраты на топливо составляют большую часть и могут достигать 30% в структуре общих затрат. Для повышения топливной экономичности специальных автомобилей и корректного учета топлива на предприятии необходима корректировка норм расхода топлива с учетом различных условий эксплуатации.

Проанализирован парк специальных автомобилей для сбора и транспортировки ТКО города с миллионным населением. Установлена тенденция его изменения в сторону специальных автомобилей с задней загрузкой ТКО (рисунок 1). Эти изменения обусловлены внедрением более эффективной системы сбора и транспортирования отходов, более совершенной и универсальной конструкцией таких автомобилей, их приспособленностью к контейнерам различных типов, в том числе «Евроконтейнерам».

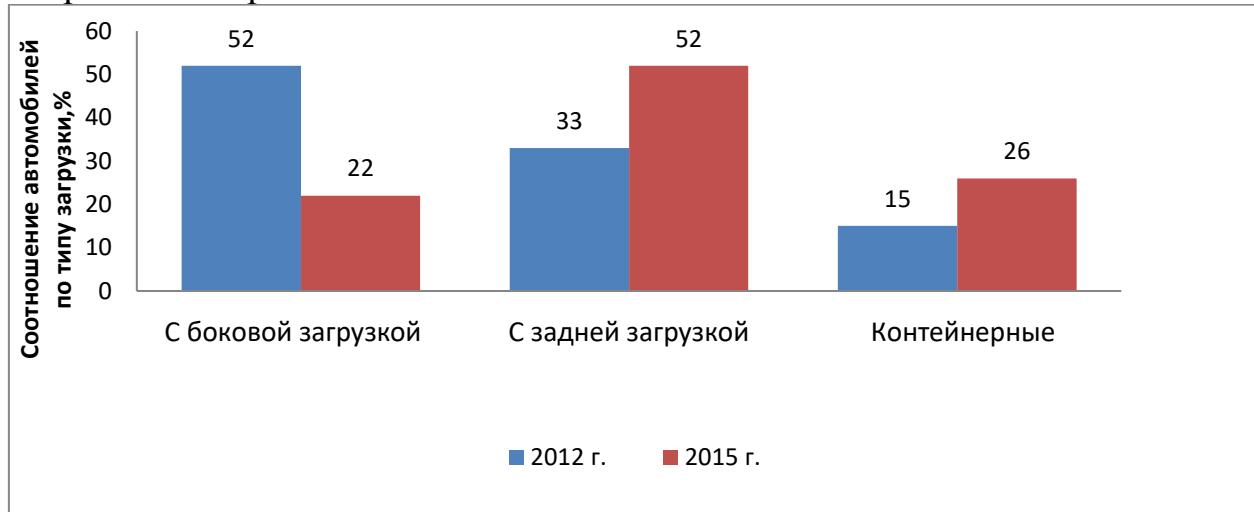


Рисунок 1 - Распределение специальных автомобилей по типу загрузки ТКО в г. Перми.

Специальные автомобили с задней загрузкой имеют наибольшее распространение (более 50% от общего парка), на втором месте – контейнерные (более 25%), на третьем – с боковой загрузкой (22%). На основе проведенного анализа, был выбран объект исследования (рисунок 2) – специальный автомобиль с задней загрузкой БМ-53229-1 на базе шасси КамАЗ-65115, предназначенный для загрузки и вывоза контейнеров с ТКО объемом от 0,8 м³ до 7,5 м³.



Рисунок 2 - Объект исследования. Специальный автомобиль для сбора и транспортирования ТКО БМ-53229-1.

Проведен анализ методов определения расхода топлива на автомобилях, дана их классификация. Установлено, что для решения задач исследования оптимальным является весовой метод, основанный на определении массы фактически израсходованного топлива.

Описан состав и порядок работы специального оборудования автомобиля в технологическом режиме эксплуатации с целью разработки математического описания процесса расхода топлива.

Во второй главе **«Разработка математической модели изменения расхода топлива специального автомобиля в технологическом режиме эксплуатации»** определены цели и задачи математического моделирования, выбран подход к моделированию, разработана математическая модель и компьютерная программа.

Модель изменения расхода топлива специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО в технологическом режиме эксплуатации была представлена совокупностью работы двух подсистем (рисунок 3):

- подсистема «двигатель внутреннего сгорания – гидравлический насос» (позиции 1-4, рисунок 3);
- подсистема «гидравлический насос – гидроцилиндр» (позиции 4-6, рисунок 3).

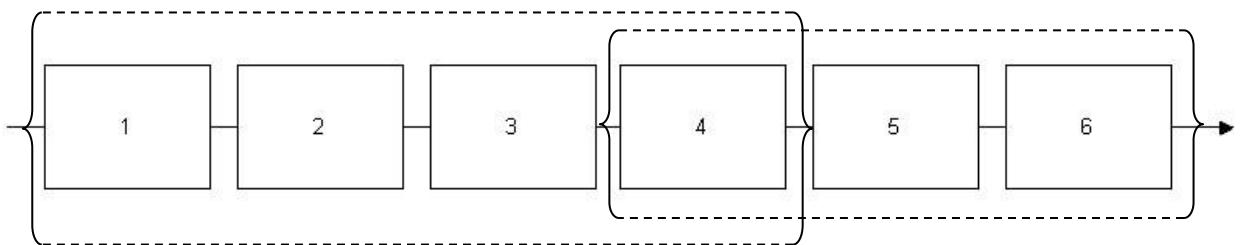


Рисунок 3 - Структурная схема модели

1 – двигатель, 2 – коробка передач, 3 – коробка отбора мощности, 4 – гидравлический насос, 5 – гидрораспределитель, 6 – гидроцилиндр.

Для моделирования подсистемы «гидравлический насос – гидроцилиндр» был выбран подход, основанный на расчете основных параметров, характеризующих состояние гидравлической системы, который был адаптирован к процессам, происходящим в гидросистеме специальных автомобилей в работе Д.В. Мальцева. В разработанной математической модели моделирование динамики подсистемы «двигатель внутреннего сгорания – гидравлический насос» не проводилось. Таким образом, для определения влияния внешних факторов на расход топлива специального автомобиля для сбора и транспортировании ТКО, модель была дополнена соответствующим расчетом.

При моделировании подсистемы «двигатель внутреннего сгорания – гидравлический насос» был выбран подход построения топливной характеристики автомобиля с помощью многопараметровой характеристики двигателя (МПХ). Нагрузочные характеристики дизеля снимаются при постоянной частоте вращения вала, что ограничивает возможности

анализа. Поэтому целесообразно воспользоваться универсальными (многопараметровыми) характеристиками дизеля, на которых отражается связь одновременно трёх параметров: нагрузки, частоты вращения и исследуемого параметра (удельного эффективного расхода топлива). Данный подход сводится к определению нагрузки на коленчатом валу двигателя в зависимости от нагрузки в подсистеме «гидравлический насос – гидроцилиндр», на основании которой по МПХ двигателя определяется удельный и часовой расход топлива.

На рисунке 4 показан способ определения удельного расхода топлива g_e на примере многопараметровой характеристики дизеля КамАЗ-740. Анализируя изменения g_e , можно отметить, что снижение нагрузки на коленчатом валу двигателя при всех частотах вращения приводит к возрастанию удельного расхода топлива. Степень возрастания расхода зависит от частоты вращения двигателя. Существует область минимальных расходов топлива, к которой и следует стремиться при исследовании процесса расхода топлива.

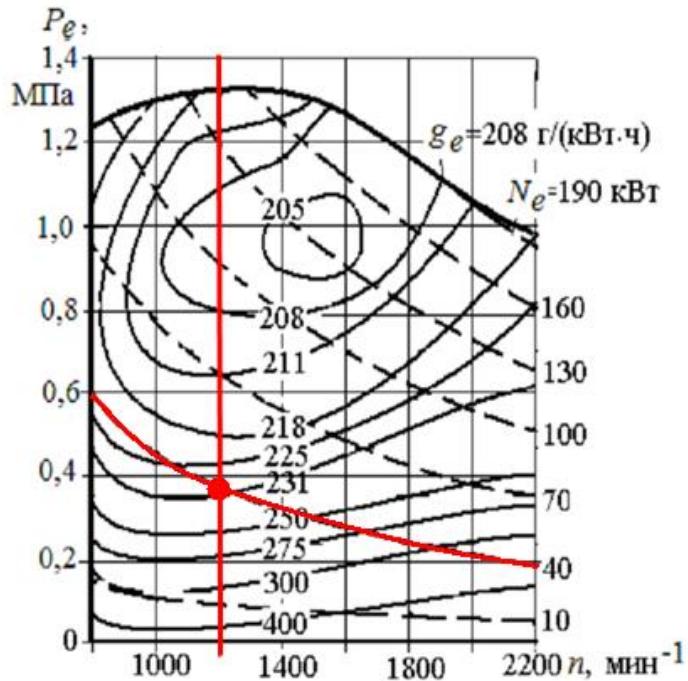


Рисунок 4 - Определение удельного расхода топлива g_e по многопараметровой характеристике дизельного двигателя КамАЗ – 740.

В результате моделирования подсистемы «гидравлический насос – гидроцилиндр» была получена зависимость давления рабочей жидкости в штоковой полости гидроцилиндра подъемного устройства от массы контейнера с ТКО

$$p_1 = \frac{m \cdot g \cdot k_{\text{ман}}}{S_{\text{п}} - S_{\text{шт}}} \quad (1)$$

где p_1 – давление рабочей жидкости в штоковой полости гидроцилиндра подъемного устройства, Па; $S_{\text{п}}$ - площадь поршня

гидроцилиндра, м²; $S_{шт}$ - площадь штока гидроцилиндра, м²; $k_{ман}$ - коэффициент, учитывающий геометрические характеристики подъемного устройства; m - масса загружаемых отходов, кг; g - ускорение свободного падения, м/с².

На основании сопоставления данных расчета двух подсистем, была получена расчетная зависимость нагрузки на коленчатом валу двигателя от массы загружаемых отходов и оборотов двигателя базового шасси:

$$N_h = \frac{m \cdot n_{дв} \cdot g \cdot V_0 \cdot z_{дв-н} \cdot k_{ман}}{(S_{п} - S_{шт}) \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_h \cdot \eta_{гс}} \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

где N_h - нагрузка на коленчатом валу двигателя, кВт; g - ускорение свободного падения, м/с²; V_0 - рабочий объем насоса, м³; $n_{дв}$ - частота вращения двигателя базового шасси, сек⁻¹; $z_{дв-н}$ - передаточное отношение от двигателя к насосу, $\eta_{пр}$ - КПД привода насоса от двигателя через коробку передач и коробку отбора мощности; $\eta_{гс}$ - объемный КПД гидросистемы; η_h - объемный КПД насоса.

По МПХ исследуемого двигателя определяется удельный расход топлива g_e при заданной частоте вращения двигателя и рассчитанной нагрузке.

Часовой расход топлива определяется исходя из полученного удельного расхода топлива и нагрузки на коленчатом валу двигателя по формуле:

$$G_T = \frac{g_e \cdot N_h}{\rho_{топл}} \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

где G_T - часовой расход топлива при выполнении работ в технологическом режиме эксплуатации, л/ч; g_e - удельный расход топлива, кг/(кВт*ч); $\rho_{топл}$ - плотность топлива, кг/м³.

Количество фактически израсходованного топлива при загрузке контейнера с ТКО определяется по формуле:

$$Q_{техн}^{заг} = \frac{g_e \cdot N_h}{\rho_{топл}} \cdot t_{заг} \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

где $Q_{техн}^{заг}$ - количество израсходованного топлива при загрузке контейнера с ТКО, л; $t_{заг}$ - время загрузки контейнера с ТКО, ч.

Математическую модель предлагается представить в виде новой зависимости изменения расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации специального автомобиля от массы загружаемых отходов и оборотов двигателя базового шасси.

$$Q_{техн} = \sum_{i=1}^k \frac{m_i \cdot n_{дв}^i \cdot g \cdot V_0 \cdot z_{дв-н} \cdot g_e \cdot k_{ман} \cdot t_{заг}^i}{(S_{п} - S_{шт}) \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_h \cdot \eta_{гс} \cdot \rho_{топл} \cdot 10^6} \cdot K_{всп.оп} \quad (5)$$

где $Q_{техн}$ - норма расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации, л; k - количество загруженных контейнеров с ТКО; $K_{всп.оп}$ - коэффициент, учитывающий вспомогательные операции при загрузке кузова специального автомобиля.

Полученную модель предлагается использовать в качестве расчетной при определении нормы расхода топлива за рейс специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО на автотранспортном предприятии.

В третьей главе «**Методика экспериментальных исследований**» изложены методики планирования эксперимента, сбора и обработки экспериментальных данных.

Анализ литературных источников и ранее выполненных исследований позволил сформировать перечень факторов, оказывающих влияние на расход топлива специальных автомобилей в технологическом режиме эксплуатации: масса загружаемых отходов; частота вращения двигателя базового шасси; температура рабочей жидкости; техническое состояние систем и оборудования автомобиля; природно-климатические условия. Проведен анализ факторов. Установлено, что масса груза и обороты двигателя оказывают наибольшее влияние на расход топлива при работе в технологическом режиме. Остальные факторы, при полностью исправном автомобиле и прогреве систем до рабочих температур, не будут оказывать существенного влияния на расход топлива в технологическом режиме эксплуатации. Определены области определения исследуемых факторов для проведения экспериментальных исследований. Выбрана методика планирования эксперимента. Приведено описание методики проверки адекватности математической модели реальному объекту.

Произведен выбор оборудования для проведения экспериментальных исследований. Разработана схема подключения оборудования при весовом методе измерения расхода топлива. Суммарная погрешность системы измерений не превышала 3,15%.

В четвертой главе «**Результаты исследований**» представлены результаты экспериментальных и аналитических исследований, дана оценка адекватности математической модели, представлена разработанная методика, рассчитан экономический эффект от внедрения разработанной методики.

В ходе проведения натурного эксперимента на объект исследования в напорную и обратные топливные магистрали были установлены трехпозиционные краны, для обеспечения работы двигателя из измерительной емкости (рисунок 5, а, позиция 1). Масса израсходованного топлива фиксировалась для каждого режима загрузки контейнера на весах фирмы «МИДЛ» (рисунок 5, а, позиция 2). Для нагружения контейнера использовались эталонные грузы – мешки с сыпучим материалом (рисунок 5, б).

В ходе проведения эксперимента осуществлялось по три повторения на каждом уровне факторов. Одно повторение включало пятикратный подъем контейнера с ТКО, в ходе которого фиксировалось время подъемов и количество израсходованного топлива. При проведении эксперимента масса изменялась на четырех уровнях от 500 кг – масса пустого контейнера, до 2000 кг – предельная паспортная нагрузка на портале. Обороты двигателя изменялись на трех уровнях от 1200 до 1600 об/мин.



Рисунок 5 - Экспериментальные исследования на специальном автомобиле БМ-53229-1.

а, поз. 1 – место установки трехпозиционных кранов;

а, поз. 2 – место установки измерительной емкости и весов;

б – процесс загрузки контейнера эталонными грузами.

Данные, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 6.

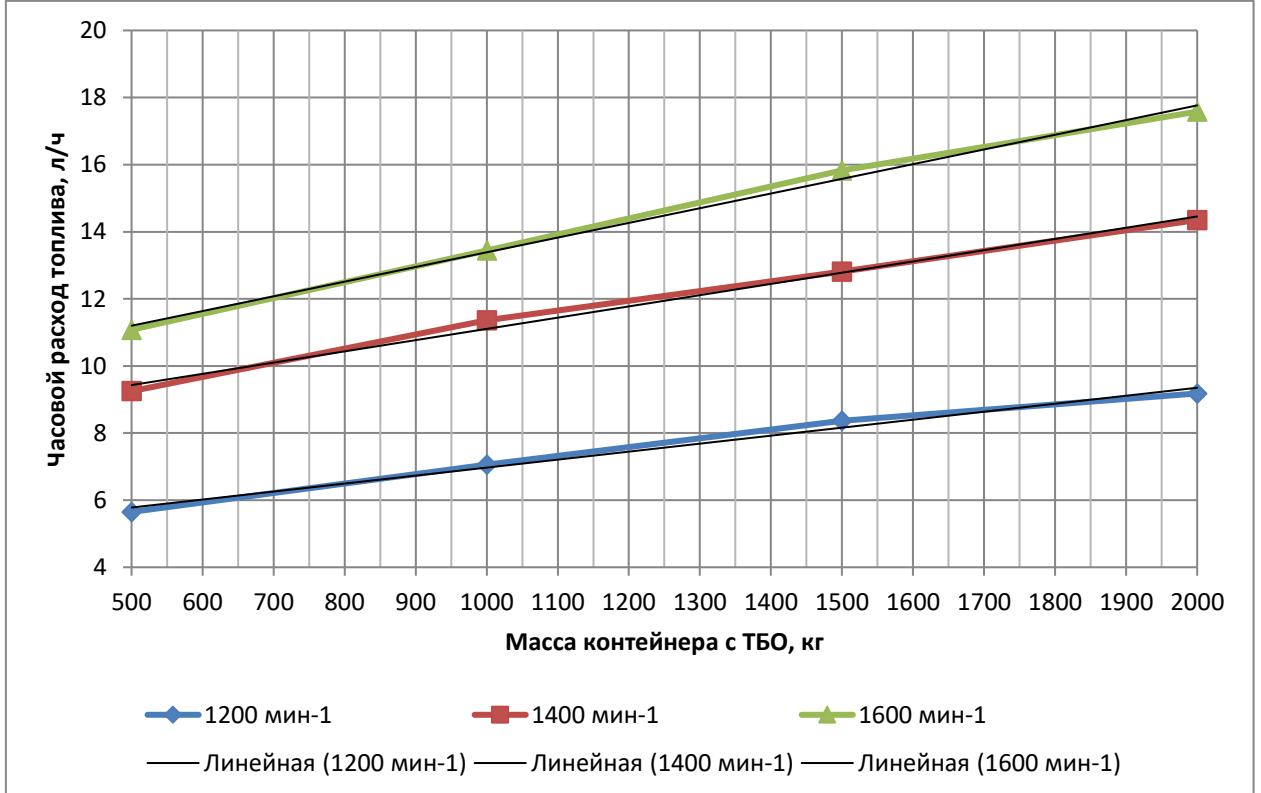


Рисунок 6 - Изменение часового расхода топлива на объекте исследования.

Была проведена обработка результатов эксперимента и получено уравнение регрессии для определения часового расхода топлива:

$$G_{\text{теор}} = -17,09 + 0,0033m_o + 0,017n \quad (6)$$

где $G_{\text{теор}}$ – часовой расход топлива теоретический, л/ч; m_o – масса контейнера с грузом, кг; n – частота вращения двигателя базового шасси, мин⁻¹.

Проверка значимости уравнения регрессии по *F*-критерию Фишера показала, что уравнение статистически значимо с вероятностью более 0,95. Средняя ошибка аппроксимации составила 5,03%, следовательно, полученное уравнение регрессии адекватно описывает существующий процесс. Установлено, что наиболее значимым фактором, влияющим на часовой расход топлива, являются обороты двигателя базового шасси. Масса поднимаемого груза оказывает меньшее влияние на выходную величину.

Технической документацией на коммунальную технику не регламентируются обороты двигателя базового шасси, на которых необходимо производить технологические операции. Нередко водитель-оператор специального автомобиля устанавливает повышенные обороты двигателя для увеличения скорости выполнения операции, что также приводит к увеличению количества израсходованного топлива.

Для определения оптимальных оборотов двигателя при работе специального автомобиля в технологическом режиме, был проведен анализ времени совершения операции подъема и опускания контейнера с ТКО на разных оборотах двигателя. Полученные данные представлены на рисунке 7.

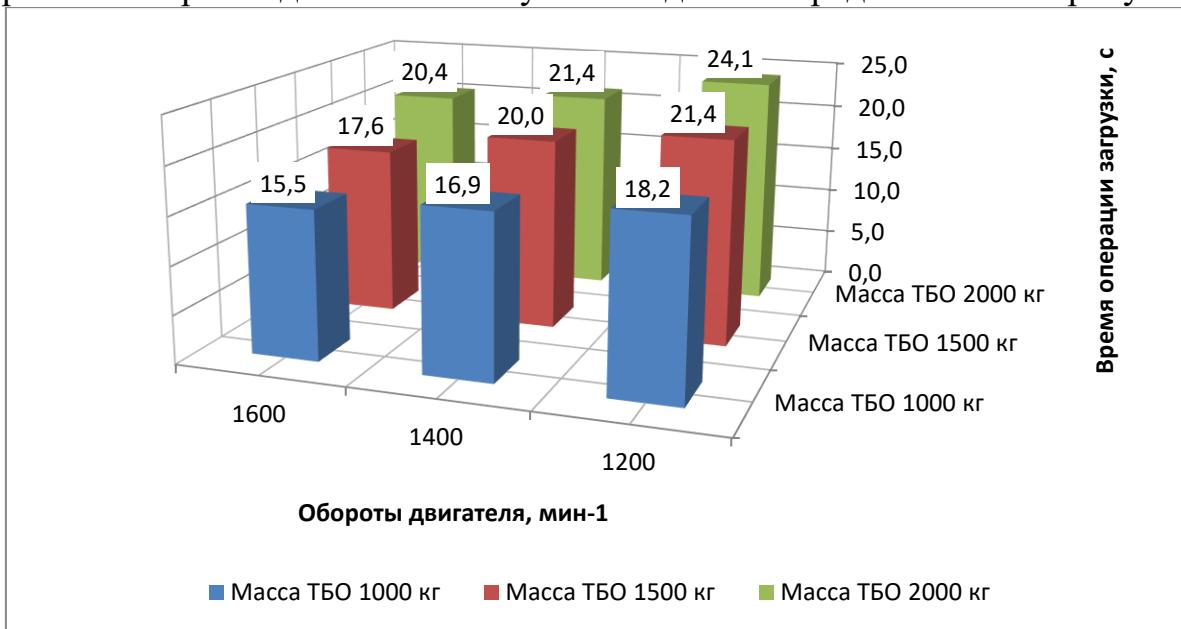


Рисунок 7 - Время совершения операции подъема/опускания контейнера с ТКО в технологическом режиме эксплуатации специального автомобиля.

Анализ данных показал, что снижение оборотов двигателя до минимальных, приводит к увеличению времени совершения операции в среднем на 13 %, что, в масштабах рейса, является несущественным, при этом снижение расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации при загрузке контейнеров с ТКО составляет до 1,5 л. Таким образом, для повышения топливной экономичности целесообразно осуществлять работу на минимально возможных оборотах двигателя, обеспечивающих нормальное функционирование гидросистемы.

Адекватность разработанной математической модели реальному объекту проверялась путем сравнения данных полученных расчетным и

экспериментальным путем. На рисунке 8 представлено сравнение расчетных и экспериментальных данных.

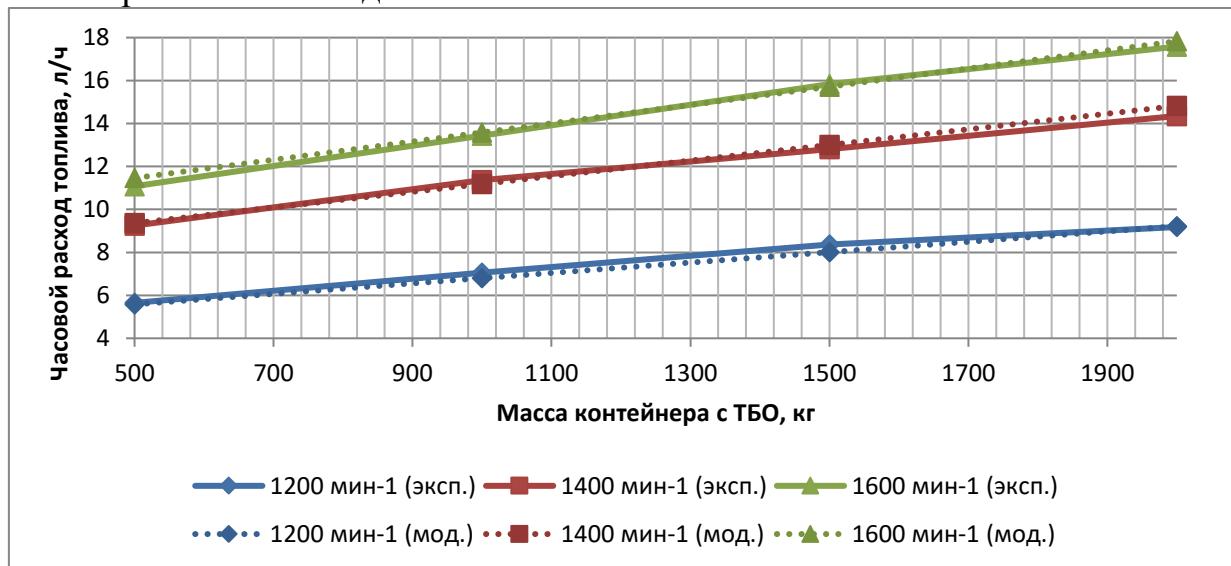


Рисунок 8 - Сравнение расчетных и экспериментальных данных.

Проверка по F -критерию Фишера показала, что математическая модель изменения часового расхода топлива значимо описывает результаты экспериментальных исследований, т.е. адекватна реальным процессам. Математическая модель может быть использована для аналитических исследований и планирования расхода топлива в зависимости от массы загружаемых отходов.

На разработанной математической модели были проведены аналитические исследования. Был спрогнозирован часовой расход топлива специальных автомобилей с дизельными двигателями КамАЗ-740 и ЯМЗ-238 при загрузке ТКО и работе на рекомендованных оборотах двигателя (1200 об/мин). Данные полученные в ходе аналитического исследования приведены на рисунке 9.

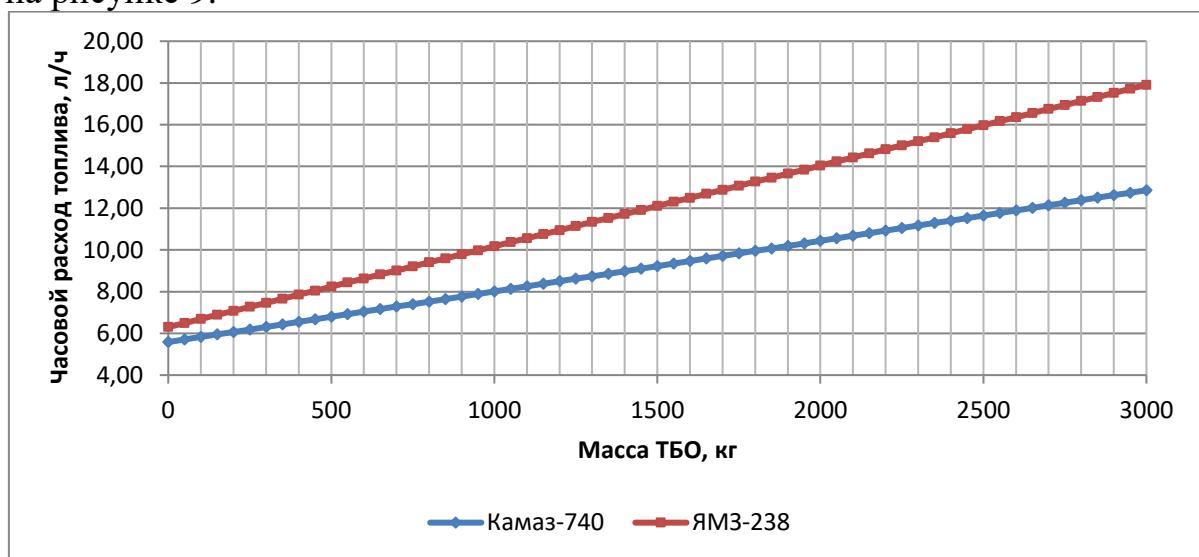


Рисунок 9 - Изменение часового расхода топлива от массы груза (обороты двигателя - 1200 об/мин).

Для практического применения результатов исследований, позволяющих сократить эксплуатационные затраты автотранспортного предприятия, была разработана «Методика дифференцированного корректирования норм расхода топлива» с учетом загрузки автомобилем различной массы груза, включающая в себя последовательность действий сотрудников АТП для корректного учета движения топлива на предприятии. В основу разрабатываемой методики положены методические рекомендации по определению нормы расхода топлива, утвержденные Госстроем России. Предложенная методика отличается тем, что позволяет определять норму расхода топлива специальных автомобилей в технологическом режиме эксплуатации в зависимости от массы загружаемых отходов и оборотов двигателя базового шасси:

$$Q = (0,01 \cdot H_S \cdot S + Q_{\text{техн}}(m_o; n_{\text{дв}})) \cdot (1 + \Delta) + 0,25 \quad (7)$$

где Q – норма расхода топлива, л; H_S - линейная норма расхода топлива, л/100 км; S - пробег машины, км; Δ - суммарная относительная надбавка к линейному расходу топлива; $Q_{\text{техн}}(m_o; n_{\text{дв}})$ - расход топлива при работе спецоборудования, рассчитанный по разработанной математической модели, л.

С целью оперативного корректирования норм расхода топлива на предприятии необходимо получать и обрабатывать данные о количестве и массе загруженных контейнеров с ТКО. На рисунке 10 представлен алгоритм определения нормы расхода топлива на основе разработанной математической модели.

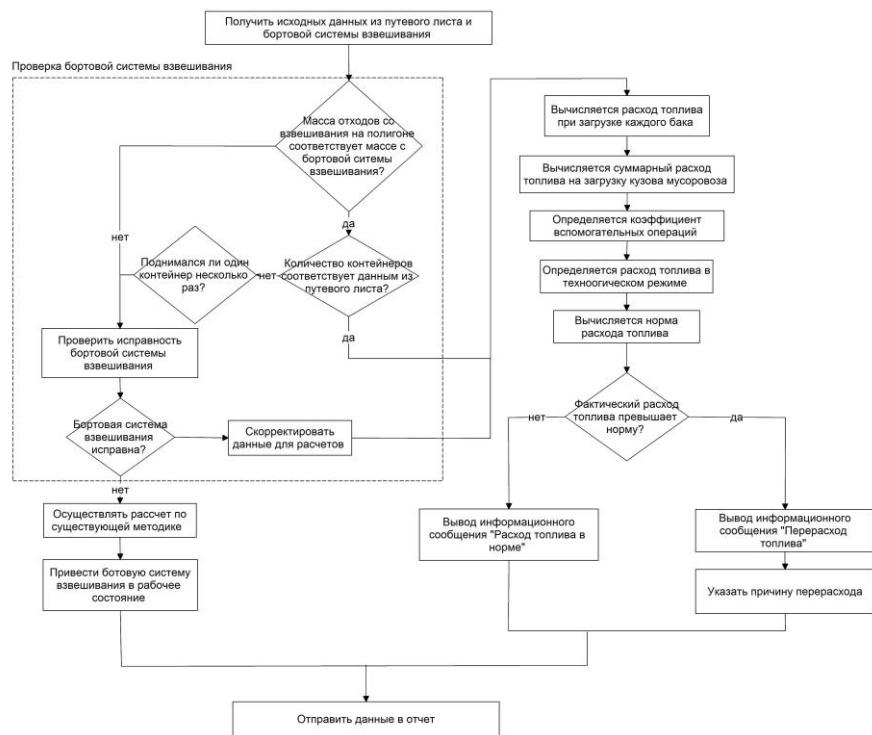


Рисунок 10 - Алгоритм определения нормы расхода топлива специального автомобиля для сбора и транспортирования ТКО.

С помощью автоматической бортовой системы взвешивания осуществляется сбор, обработка и передача данных о дате, времени и месте загрузки ТКО, количестве и массе загружаемых контейнеров с ТКО, а также времени осуществления операции загрузки и работы в технологическом режиме. На основе полученных в рамках исследования зависимостей и математической модели, определяется расход топлива при загрузке контейнера с ТКО:

$$Q_{\text{техн}}(k) = \frac{g_e^k \cdot N_{\text{h}}^k}{1000 \cdot \rho_{\text{топл}}} \cdot t_{\text{заг.н}} \quad (8)$$

Таким образом, количество топлива, потраченного на загрузку кузова, определяется по формуле:

$$\sum_{i=1}^k Q_{\text{техн}}(i) = Q_{\text{техн}}(1) + Q_{\text{техн}}(2) + \dots + Q_{\text{техн}}(k) \quad (9)$$

где k – количество загруженных контейнеров, ед.

С учетом вспомогательных операций, расход топлива в технологическом режиме работы определяется по формуле:

$$Q_{\text{техн}} = \sum Q_{\text{техн}}(k) \cdot K_{\text{всп.оп.}} \quad (10)$$

На основании полученных данных, по формуле 7 определяется норма расхода топлива за рейс специальным автомобилем. Полученное значение сравнивается с количеством фактически израсходованного топлива. При значительном расхождении данных, сотрудник инженерно-технической службы (ИТС) АТП выясняет его причину.

Для простоты применения разработанной методики на любом автотранспортном предприятии предложена ее программная реализация (рисунок 11).

Рисунок 11 - Разработанное программное обеспечение для реализации предложенной методики.

Сотрудник ИТС предприятия вводит в окно программы исходные данные: водителя-оператора, марку и модель автомобиля, пробег, количество фактически израсходованного топлива, выбирает из предложенного списка

поправочные коэффициенты, и осуществляет выгрузку данных в программу с бортовой системы взвешивания (количество загруженных контейнеров, массу каждого контейнера, время загрузки контейнеров, время работы в технологическом режиме). Программа в автоматическом режиме рассчитывает норму расхода топлива в технологическом режиме работы автомобиля и норму расхода топлива за рейс, сравнивает ее с количеством фактически израсходованного топлива. При расхождении данных более чем на 5%, выводится сообщение о необходимости устранения причин данного расхождения. По результатам работы за установленный период формируется отчет о работе водителя-оператора, о возможных нарушения рекомендованных режимов работы или неисправностях элементов и систем автомобиля, приводящих к снижению топливной экономичности.

На основе предложенной методики, был разработан алгоритм ее реализации сотрудниками инженерно-технической службы АТП (рисунок 12). Применение разработанного алгоритма позволит в оперативном режиме выявлять наличие перерасхода топлива транспортного средства (ТС) и определять его причину. При наличии полностью исправного автомобильного парка это значительно снизит вероятность хищения топлива и неквалифицированного управление ТС, а также позволит существенно повысить топливную экономичность и сократить затраты предприятия.

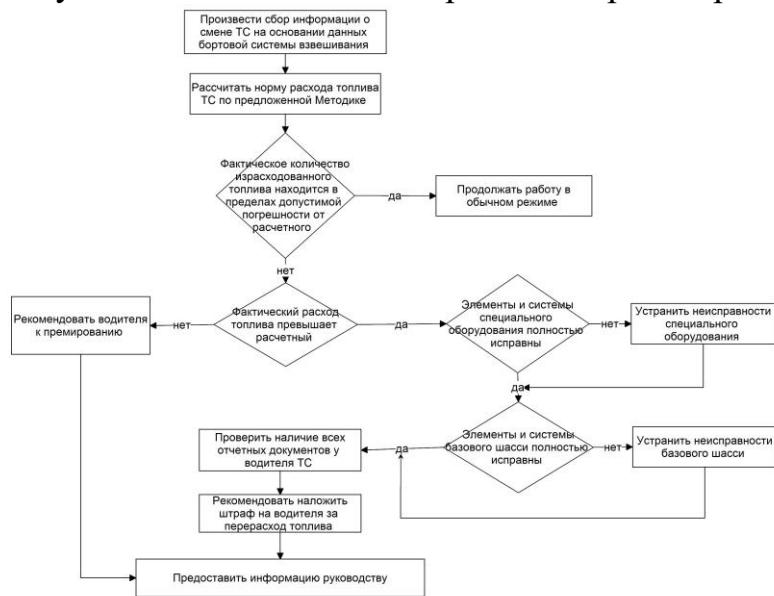


Рисунок 12 - Алгоритм реализации разработанной методики на АТП.

Анализ технико-экономических показателей работы АТП позволил сделать вывод, что практическое использование разработанной методики позволит, за счет снижения годовых эксплуатационных затрат, снизить удельные приведенные годовые затраты на 4,4 %, что позволит, при существующей загрузке автомобиля, экономить на его эксплуатации до 200 тыс. руб. в год.

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе разработанных экспериментально-расчетных зависимостей решена важная научно-практическая задача повышения эффективности перевозки твердых коммунальных отходов путём оперативного корректирования норм расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО.

2. Анализ факторов, влияющих на изменение расхода топлива специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО в технологическом режиме эксплуатации, показал, что масса загружаемых отходов и обороты двигателя базового шасси оказывают наибольшее влияние на расход топлива. Установлено, что наиболее значимым фактором являются обороты двигателя базового шасси.

3. Разработана математическая модель изменения нагрузки на коленчатом валу двигателя специального автомобиля для сбора и транспортирования ТКО в технологическом режиме эксплуатации, в которой впервые учтены факторы: масса груза и обороты двигателя базового шасси. Доказана адекватность разработанной математической модели реальному объекту. Модель позволяет теоретически определить расход топлива в технологическом режиме эксплуатации специальных автомобилей.

4. Установлены экспериментальные закономерности изменения расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации автомобиля от массы загружаемых отходов и оборотов двигателя. Работа на рекомендованных оборотах двигателя позволит снизить количество фактически израсходованного топлива при осуществлении операции подъема и опускания контейнеров с ТКО до 1,5 л за рейс.

5. С учетом полученных закономерностей, разработана методика дифференцированного корректирования норм расхода топлива специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО в технологическом режиме эксплуатации. Применение разработанной методики позволит снизить удельные приведенные годовые затраты на 4,4 %, что позволит, при существующей загрузке автомобиля, экономить на его эксплуатации до 200 тыс. руб. в год.

6. Разработаны, научно обоснованы и внедрены в работу действующих АТП рекомендации по определению нормы расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО, использование которых позволяет уменьшить затраты на топливо.

7. Экономический эффект достигается за счет научно-обоснованного снижение расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации, что позволит в оперативном режиме выявлять наличие перерасхода топлива автомобилем и определять его причину.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

- в изданиях из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК Минобрнауки:

1. Генсон Е.М. Определение массы твердых бытовых отходов, загружаемых коммунальным транспортом в местах сбора с использованием средств спутниковой навигации / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев // Автотранспортное предприятие. – 2012. - №2. – С. 45-48.

2. Генсон Е.М. Положение манипулятора мусоровоза и степень его нагруженности / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев // Автомобильная промышленность. – 2014. - №10. – С. 18-19.

3. Генсон Е.М. Анализ топливной экономичности мусоровоза при выполнении транспортной работы / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев // Автотранспортное предприятие. – 2016. - №10. – С. 51-53.

- в прочих изданиях

4. Генсон Е.М. Методика оперативного корректирования норм расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-техн. конф., 20 апреля 2017 г., г. Тюмень. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. - с. 283-288.

5. Генсон Е.М. Математическое описание процесса расхода топлива мусоровоза в технологическом режиме эксплуатации / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-техн. конф., 14 апреля 2016 г., г. Тюмень. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2016. - с. 74-79.

6. Генсон Е.М. Аналитическое исследование процесса расхода топлива специальными автомобилями при работе погрузочно-разгрузочного оборудования / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 2-ой Междун. науч.-практ. конф., 17-18 мая 2016 г., г. Орел. – Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2016. – с. 245-249.

7. Генсон Е.М. Современные проблемы эксплуатации мусоровозов и учета горюче-смазочных материалов на предприятиях коммунального транспорта / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, С.А. Монченко // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 14-15 апреля 2016 г., г. Пермь. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2016. - с. 24-29.

8. Генсон Е.М. Аналитическое обоснование возможности определения массы твердых бытовых отходов, загружаемых коммунальным транспортом в местах сбора / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев, Р.Н. Хмелев // Строительные и дорожные машины. – 2012. - №7. – С. 6-8.

9. Генсон Е.М. Локализация момента съема информации для определения массы мусора во время работы манипулятора мусоровоза / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев // Строительные и дорожные машины. – 2013. - №3. – С. 8-11.

10. Генсон Е.М. Результаты исследования физической модели гидросистемы мусоровоза / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев // Строительные и дорожные машины. – 2014. - №5. – С. 2-5.

11. Генсон Е.М. Определение массы твердых бытовых отходов, загружаемых в кузов мусоровоза гидроманипулятором, в момент подъема бака с мусором в местах сбора с использованием средств спутниковой навигации / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев // Машиностроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства: материалы Всерос. науч.-практ. конф., 11 июня 2012 г., г. Ижевск /Ижев. гос. техн. ун-т им. М.Т. Калашникова [и др.] - Ижевск: Изд-во ИжГТУ, - 2012. – с. 90-92.

12. Генсон Е.М. Термодинамическая модель гидросистемы мусоровоза МК-20 для определения массы груза поднимаемого манипулятором / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: материалы 3-ей Междунар. науч. - практ. конф., 21-23 мая 2013 г., г. Орел / М-во образования и науки Рос. Федерации. – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2013. – с. 164-168.

13. Генсон Е.М. Муниципальная геоинформационная система мониторинга сбора и транспортировки твердых бытовых отходов / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев и др. // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с междунар. участием), 14-15 нояб. 2014 г., г. Пермь. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2015. – с. 309-313.

14. Генсон Е.М. Экспериментальное определение массы твердых бытовых отходов в местах сбора во время загрузки в коммунальный транспорт / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч. - практ. конф., 23-24 апреля 2015 г., г. Пермь. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2015. - с. 95-99.

Патенты

15. Пат. 143665 Российская федерация, МПК G01G 19/08. Устройство для определения массы груза, загружаемого в транспортное средство подъемным устройством / Н.В. Лобов, Н.И. Фомина, Д.В. Мальцев, Е.М. Генсон - №2012127537/28; заявл. 02.07.2012; опубл. 27.07.2014, Бюл. №21. - 3 с.