

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
Кафедра Автомобилей и технологических машин

На правах рукописи

**Генсон Евгений Михайлович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА  
СПЕЦИАЛЬНЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ  
РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

**Диссертация**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
д.т.н., профессор  
**Лобов Николай Владимирович**

г. Пермь, 2017

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
<b>1.1. Общая характеристика функционирования системы обращения с твердыми коммунальными отходами в крупных городах России.</b> .....	9
<b>1.2. Особенности эксплуатации и нормирования расхода топлива мусоровозов при транспортировании твердых коммунальных отходов.</b> .....	14
<b>1.3. Методы определения расхода топлива на автомобилях.</b> .....	21
<b>1.4. Выбор объекта исследования.</b> .....	28
<b>1.5. Описание работы мусоровоза в технологическом режиме эксплуатации.</b> .....	30
<b>Выводы по главе 1.</b> .....	34
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА РАСХОДА ТОПЛИВА.....	35
<b>2.1. Цели и задачи математического моделирования.</b> .....	35
<b>2.2. Выбор и обоснование подхода к математическому моделированию.</b> .....	36
2.3.1. Расчет гидравлического привода автомобиля. ....	41
2.3.2. Расчет пространственного положения подъемного устройства автомобиля.....	43
<b>2.4. Математическое моделирование подсистемы «двигатель внутреннего сгорания – насос».</b> .....	47
<b>2.5. Разработка компьютерной программы.</b> .....	49
<b>Выводы по главе 2</b> .....	50
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ....	51
<b>3.1. Общая методика экспериментальных исследований.</b> .....	51
3.1.1. Цели и задачи экспериментальных исследований. ....	51

3.1.2. Методы экспериментальных исследований.....	51
<b>3.2. Анализ факторов, влияющих на расход топлива мусоровоза при работе в технологическом режиме эксплуатации.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3. Методика планирования эксперимента.....</b>	<b>54</b>
<b>3.5. Методика оценки адекватности математической модели.....</b>	<b>61</b>
<b>Выводы по главе 3 .....</b>	<b>64</b>
<b>ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1. Результаты экспериментальных исследований влияния факторов на часовой расход топлива в технологическом режиме.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2. Результаты аналитического исследования расхода топлива на мусоровозе.....</b>	<b>72</b>
<b>4.3. Оценка адекватности математической модели.....</b>	<b>74</b>
<b>4.4. Рекомендации по корректировке нормы расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровозов.....</b>	<b>76</b>
<b>4.5. Достижимый экономический эффект от внедрения разработанной методики.....</b>	<b>83</b>
<b>Выводы по главе 4.....</b>	<b>92</b>
<b>ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ.....</b>	<b>93</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>95</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>103</b>

## ВВЕДЕНИЕ.

**Актуальность работы.** Проблема управления отходами производства и потребления все острее встает в России и за рубежом. 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 корректно определить перерасход топлива и выявить его причину. Таким образом, исследования направленные на корректировку действующих методических рекомендаций по определению нормы расхода топлива являются *актуальными*.

Решение важной научно-практической задачи снижения эксплуатационных затрат автотранспортных предприятий возможно путём оперативного корректирования норм расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации специальных автомобилей для сбора и транспортирования твердых коммунальных отходов.

Проблемам повышения эффективности перевозок ТКО посвящены работы Моисеевой Н.М. [41], Олимпиева А.В. [45], Северовой Е.С. [59], Кожевникова Е.В. [31].

Исследованиями расхода топлива бензиновыми и дизельными двигателями автотранспортных средств занимались ученые Медведев А.Н., Матиевский Г.Д., Мацулевич М.А., Аношина Т.С., Петруня И.А. и др.[40, 38, 39, 3, 47, 5]

Влиянию различных условий эксплуатации на топливную экономичность автомобилей посвящены научные труды Чайникова Д.А., Иванова А.С., Захарова Д.А., Евтина П.В. и др. [65, 23, 26, 17]. Расход топлива специализированными автомобилями рассмотрен в работе Захарова Н.С. и Шакирова И.Ф. [25].

Вопросу определения массы отходов, загружаемых мусоровозом в местах сбора, посвящена работа Мальцева Д.В. [37].

Однако, в представленных работах не рассматривается вопрос влияния массы загружаемых отходов и оборотов двигателя базового шасси на расход топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровозов.

#### **Цель исследования:**

Снижение эксплуатационных затрат автотранспортных предприятий путём оперативного корректирования норм расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации специальных автомобилей для сбора и транспортирования твердых коммунальных отходов.

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

1. Провести исследование современных проблем эксплуатации специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО;
2. Провести анализ факторов, оказывающих влияние на расход топлива в технологическом режиме эксплуатации;

3. Установить закономерности влияния массы загружаемых отходов и оборотов двигателя базового шасси на расход топлива в технологическом режиме эксплуатации;

4. Разработать математическую модель формирования расхода топлива специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО в технологическом режиме эксплуатации под влиянием массы поднимаемого груза с учетом специфики работы специального оборудования;

5. Разработать методику практического использования результатов исследований и оценить её эффективность

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования является специальный автомобиль для сбора и транспортирования ТКО, а предметом исследования – процесс изменения расхода топлива автомобилей в технологическом режиме эксплуатации.

**Научная новизна:**

1. Математическая модель формирования расхода топлива специального автомобиля для сбора и транспортирования ТКО при эксплуатации в технологическом режиме под влиянием массы поднимаемого груза с учетом специфики работы специального оборудования;

2. Методика дифференцированного корректирования норм расхода топлива специальных автомобилей, в которой впервые учтены изменения массы загружаемых отходов при эксплуатации в технологическом режиме.

**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 формирования расхода топлива специального автомобиля для сбора и транспортирования ТКО при эксплуатации в технологическом режиме под влиянием массы поднимаемого груза с учетом специфики работы специального оборудования;
4. Закономерности формирования расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации;
5. Методика дифференцированного корректирования норм расхода топлива специальных автомобилей;
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, 2 февраля 2012 г.;
- на Международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» - г. Пермь, ПНИПУ, 26-28 апреля 2012 г.;
- на Международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» - г. Пермь, ПНИПУ, 24-25 апреля 2014 г.;

- на Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» - г. Орел, Госуниверситет-УНПК, 19-20 мая 2015 г.

- на Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» - г. Тюмень, ТИУ, 14 апреля 2016 г.

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.

**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 16 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 121 страницах, включает в себя введение, 4 главы, заключение и список использованной литературы из 71 наименований и приложений.

## **ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И УЧЕТА ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ КОММУНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА.**

### **1.1. Общая характеристика функционирования системы обращения с твердыми коммунальными отходами в крупных городах России.**

На сегодняшний день в России наиболее остро стоит проблема управления отходами, образованными от деятельности населения и предприятий. По данным статистики, каждый житель России образует в среднем 15 тн твердых коммунальных отходов (ТКО) ежегодно. Система утилизации и обезвреживания в стране находится на очень низком уровне, как следствие, количество накопленных отходов на полигонах размещения ТКО постоянно увеличивается, что неизбежно ухудшает экологическую и санитарно – эпидемиологическую обстановку в стране, ведет к увеличению расходов на транспортирование ТКО и на обслуживание свалок и полигонов размещения ТКО.

В основном, во всех городах страны существует смешанная система сбора ТКО, т.к. отсутствует культура разделения отходов на различные компоненты. На сегодняшний день только в некоторых государственных и частных учреждениях применяется раздельная система сбора отходов – на этапе сбора происходит сортировка по видам: бумага (картон), пластмассы, стекло, металл, пищевые отходы и др.

В России в целом практически не развит рынок по подготовке и обезвреживанию промышленных и коммунальных отходов, а также их переработки во вторичное сырье. Следовательно, развитие раздельной системы сбора ТКО останавливается отсутствием рентабельности данной отрасли, а также достаточно низкой экологической культурой населения. Проведенные экспериментальные исследования по внедрению селективного сбора отходов от населения в разных городах России показали, что к развитию в данном направлении не готовы и существующие специализированные автотранспортные предприятия, эксплуатирующие коммунальную технику [41].

Система сбора ТКО в России функционирует следующим образом. На первом этапе ТКО попадают в пункты сбора ТКО – специально оборудованные контейнерные площадки. Накопление ТКО производится в баках или контейнерах различной вместимости. На сегодняшний день используются специальные контейнеры объемом 0,75-1,1 м<sup>3</sup> (баки), контейнеры закрытого типа объемом 6 м<sup>3</sup>, подземные (заглубленные) контейнеры объемом 5 м<sup>3</sup> и контейнеры открытого типа объемом от 15 до 27 м<sup>3</sup> [53].

Анализ зарубежного опыта показал, что большинство применяемых на сегодняшний день контейнеров для сбора ТКО от населения изготавливаются из пластмасс. Они, по сравнению с контейнерами, изготовленными из листовой стали, имеют ряд преимуществ: меньшая масса контейнера, меньшее прилипание отходов к контейнеру, более легкая очистка контейнеров после использования. Также при использовании пластмассовых контейнеров при отрицательных температурах, отходы не примерзают к стенкам и дну контейнера, т.к. коэффициент сцепления пластмассы со льдом минимален.

В большинстве городов России для сбора ТКО от населения до сих пор применяют стальные контейнеры. Они более надежны и безопасны при возгорании в них мусора, имеют большой ресурс, однако, в значительной степени более дорогие, чем пластмассовые контейнеры. Но, следует отметить, что, с увеличением экологической культуры населения и экономической обстановкой в стране, наблюдается тенденция перехода на пластмассовые контейнеры («Евроконтейнеры»). Также переход на «Евроконтейнеры» обуславливается, в некоторых случаях, необходимостью использования мобильных, небольших мусоровозов. Низкий уровень очистки дворовых проездов от снега в зимний период и отсутствие организованных парковочных пространств не позволяет мусоровозам с большой грузоподъемностью осуществлять сбор твердых коммунальных отходов на контейнерной площадке.

В настоящее время, транспортировка ТКО осуществляется специально оборудованным автомобильным транспортом – мусоровозом, исключаящим потери отходов по пути следования и загрязнение окружающей среды.

Сбор и удаление ТКО в городах и населенных пунктах осуществляется специализированными автотранспортными предприятиями (АТП) в сроки, предусмотренные санитарными правилами уборки населенных мест [58]. Периодичность вывоза твердых коммунальных отходов устанавливается с учетом сезонов года, климатической зоны, эпидемиологической обстановкой.

Перегрузка ТКО из контейнеров проводится путем механизированного опорожнения в кузов мусоровоза. После загрузки ТКО доставляются к пункту переработки или к месту их размещения.

При выборе мусоровозов АТП учитывают такие критерии, как вместимость кузова, необходимая степень уплотнения ТКО в зависимости от их исходной средней плотности, дальность вывозки ТКО, развитость дорожной сети и ее пропускная способность, эксплуатационные затраты и др.

Для организации сбора и транспортирования ТКО от мест накопления до мест использования, обезвреживания или размещения (полгона ТКО) применяют прямую (одноэтапную) и двухэтапную системы. Прямая система подразумевает транспортирование ТКО в один этап от производителя до потребителя отходов. При двухэтапной организации системы сбора и транспортирования ТКО применяются мусороперегрузочные станции (МПС).

В первом случае, транспортирование ТКО производится мусоровозами малой и средней грузоподъемности напрямую на полигоны размещения отходов или к переработчикам.

При двухэтапной организации вывоза отходов применяется следующая система: сбор и транспортирование ТКО от производителя отходов до МПС осуществляется мусоровозами малой и средней грузоподъемности; на МПС происходит частичная предварительная сортировка отходов и их перегрузка в транспортные мусоровозы с большой грузоподъемностью, которые осуществляют транспортировку ТКО на конечный пункт размещения.

Система с применением двухэтапного сбора отходов экономически и экологически более эффективная [59].

Выбор маршрутов движения мусоровоза в общем виде выглядит следующим образом. Известны расположения грузоотправителей и грузополучателей, дислокация парка подвижного состава, объемы вывоза, характеристики транспортной сети и условий движения на ней. Необходимо найти удовлетворяющий определенным требованиям АТП оптимальный маршрут движения. На сегодняшний день процесс определения оптимального маршрута на АТП не систематизирован и зачастую определяется самим водителем-оператором мусоровоза с учетом сиюминутных потребностей заказчика.

Актуальность проблемы сбора и вывоза ТКО в г. Перми и Пермском крае подтверждается позицией властей города и вниманием к проблеме средств массовой информации.

В законе Пермского края «О программе социально-экономического развития Пермского края на 2012-2016 годы», принятого Законодательным Собранием Пермского края 6 декабря 2012 года, одной из основных проблем в разделе «природопользование и инфраструктура» является проблема возрастания количества отходов потребления, что создает угрозу загрязнения окружающей среды. К целям и задачам среди прочего относится эффективное обращение с твердыми коммунальными отходами [22].

С развитием рыночной экономики в России и увеличением конкуренции на рынке транспортирования ТКО, каждое из специализированных автотранспортных предприятий вынуждено бороться за конкурентноспособность предлагаемых им услуг. По данным проведенных исследований в городе Перми работают более 20 предприятий перевозчиков ТКО. Для них остро стоят вопросы повышения эффективности деятельности и оптимизации издержек, связанных с перевозочным процессом.

Существует несколько способов повышения эффективности деятельности специализированного АТП [59]:

1. Сокращение материальных затрат (на техническое обслуживание, текущий ремонт, ГСМ, шины, накладных расходов и др.);

2. Улучшение технико-экономических показателей (коэффициента использования грузоподъемности, пробега, коэффициента выпуска и др.);
3. Расширение перечня предлагаемых услуг (закрытие люков контейнеров, их санитарная обработка, ремонт и др.);
4. Внедрение собственных МПС (увеличение производительности работы ПС, уплотнение груза).

Оптимизация и сокращение материальных затрат на эксплуатацию подвижного состава видится наиболее приоритетным для повышения эффективности деятельности автотранспортного предприятия [65, 17, 26, 36, 23].

Расходы на эксплуатацию грузовых коммерческих автомобилей определяются следующей совокупностью затрат [35, 46]:

$$P_{\text{э}} = P_{\text{т}} \cdot P_{\text{см,рж}} \cdot P_{\text{ТОиР}} \cdot P_{\text{ш}} \cdot P_{\text{н}} \cdot P_{\text{раз}} \cdot P_{\text{ЗП}} \cdot P_{\text{А}} \cdot P_{\text{пр}} \quad (1.1)$$

где  $P_{\text{т}}$  – затраты на топливо,  $P_{\text{см,рж}}$  – затраты на смазочные материалы и рабочие жидкости,  $P_{\text{ТОиР}}$  – затраты на техническое обслуживание и ремонт,  $P_{\text{ш}}$  – затраты на шины,  $P_{\text{н}}$  – налоги,  $P_{\text{раз}}$  – разовые затраты, связанные с вводом АТС в эксплуатацию,  $P_{\text{ЗП}}$  – затраты на оплату труда ремонтных рабочих и водителей,  $P_{\text{А}}$  – амортизация,  $P_{\text{пр}}$  – прочие затраты.

Согласно ранее проведенным исследованиям [54] была составлена структура затрат на эксплуатацию подвижного состава АТП (рис. 1.1).

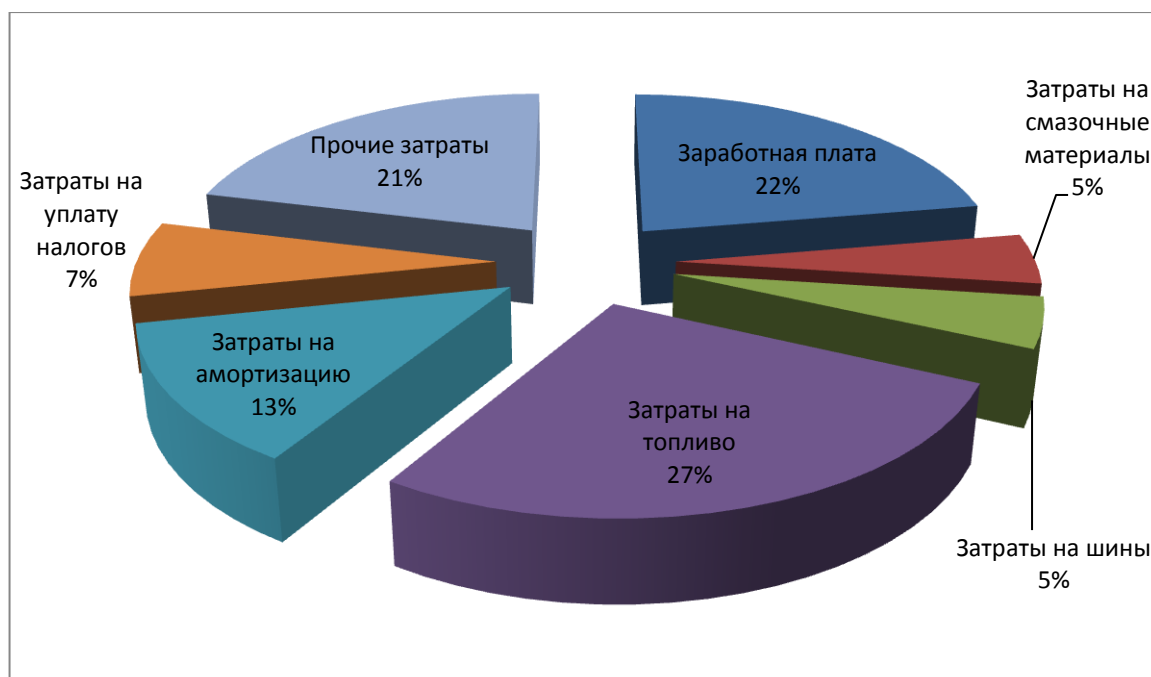


Рис.1.1. Структура эксплуатационных затрат АТП.

Одной из основных статей затрат на транспортирование ТКО являются затраты на топливо, которые могут достигать 30% в структуре общих затрат.

На основании проведенного исследования определено, что наиболее действенным и рациональным способом повышения эффективности деятельности АТП является определение путей снижения затрат на топливо.

### **1.2. Особенности эксплуатации и нормирования расхода топлива мусоровозов при транспортировании твердых коммунальных отходов.**

Одной из основных статей затрат на транспортирование ТКО являются затраты на топливо. В настоящее время снижение фактического расхода топлива не приведет к реальной экономии. Причиной является отсутствие объективного, научно обоснованного норматива. Даже применение специализированного оборудования – средств инструментального контроля фактического расхода топлива не позволяет достичь высокой топливной экономичности без объективно установленного лимита потребления топлива [65].

На автомобильном транспорте нормативный расход топлива применяется для ведения статистической и оперативной отчетности, определения

себестоимости перевозок и других видов транспортных работ, планирования потребностей предприятий в обеспечении нефтепродуктами, осуществления расчетов по налогообложению предприятий, осуществления режима экономии и энергосбережения потребляемых нефтепродуктов, проведения расчетов с пользователями транспортных средств, водителями и т.д. [65].

На сегодняшний день норма расхода топлива мусоровозов определяется, согласно «Рекомендациям по расходу топлива машинами для содержания, ремонта автомобильных дорог и объектов внешнего благоустройства поселений» [52], утвержденным Госстроем России по формуле (1.2).

$$Q = (0,01 \cdot H_S \cdot S + Q_1 \cdot n) \cdot (1 + D) + 0,25n \quad (1.2)$$

где  $Q$  - норма расхода топлива за сутки;

$H_S$  - линейная норма расхода топлива, л/100 км;

$S$  - среднесуточный пробег машины, км;

$n$  – среднесменное количество рейсов;

$D$  - суммарная относительная надбавка к линейному расходу топлива;

$Q_1$  - расход топлива при работе спецоборудования, л/ч (или на одну погрузку и разгрузку)

Суммарная относительная надбавка к линейному расходу топлива исчисляется в долях единицы и определяется по формуле:

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 \quad (1.3)$$

где  $D_1$  – надбавка при работе спецмашин в черте города с частыми остановками. Принимается до 10% при среднем количестве остановок более одной на 1 км общего пробега;

$D_2$  – надбавка на работу спецмашин в зимний период. Надбавка рассчитывается отдельно для каждого региона страны по климатическим районам, согласно данным, приведенным в приложении к рекомендациям. Изменяется в пределах 5..20% в зависимости от региона;

$D_3$  – надбавка для автомобилей находящихся в длительной эксплуатации. Учитывает автомобили старше 5 лет – до 5% и старше 8 лет – до 10%;

$D_4$  – надбавка при работе в городах с большой плотностью населения. Рассчитывается исходя из плотности населения в регионе и составляет от 5 до 25%;

$D_5$  – надбавка на выполнение транспортной работы по перевозке технологического груза (воды, технологического материала, отходов и т.д.) и составляет до 10%;

$D_6$  – надбавка для машин циклического действия, удаляющих собранный смет и загрязнения на свалки (мусоровозы, подметально-уборочные машины, илососы и т.п.), надбавка за каждый цикл разгрузки составляет  $D_6 = 0,25$  л/цикл.

Мусоровоз работает в двух основных режимах: транспортный режим (вывоз ТКО) и технологический режим (сбор ТКО) [2]. В транспортном режиме мусоровоз перемещается между контейнерными площадками и полигоном размещения ТКО, а в работе задействовано только базовое шасси. В технологическом режиме осуществляется загрузка/разгрузка кузова мусоровоза с помощью специального оборудования.

На автотранспортном предприятии ООО «ВМ-Сервис» в г. Перми были собраны статистические данные по эксплуатационным показателям наиболее распространенного мусоровоза с задней загрузкой БМ-53229-1 на базе шасси Камаз-65115 [43]. Данные о пробеге, о расходе топлива и о количестве полных циклов загрузки/разгрузки мусоровоза за 2014-2016 год приведены на рис. 1.2. На основании собранных данных была определена норма расхода топлива мусоровоза за месяц.

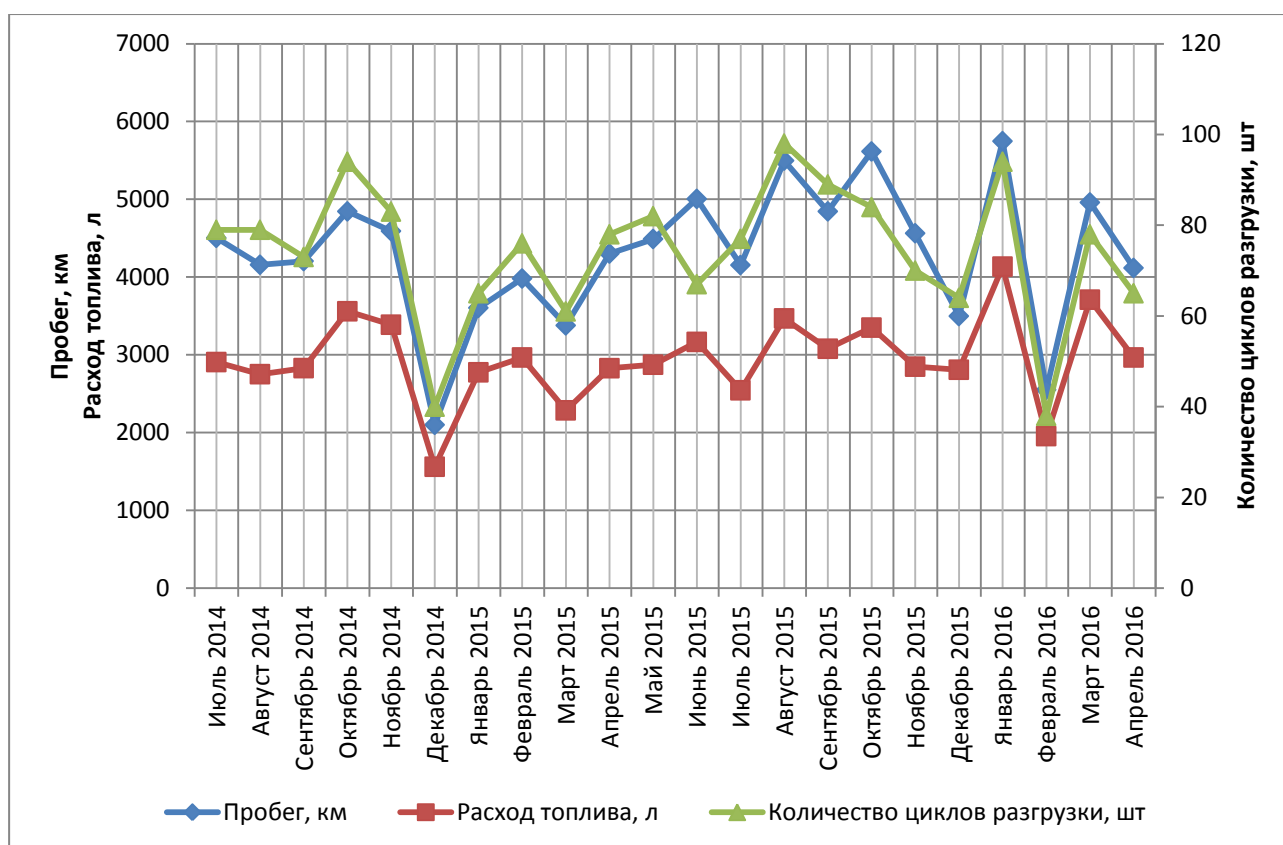


Рис. 1.2. Изменение пробега, расхода топлива, количества циклов загрузки/разгрузки мусоровоза по месяцам

Проанализировав полученные данные, было установлено, что увеличение пробега мусоровоза не всегда приводит к увеличению эксплуатационного расхода топлива. Например, в декабре 2015 г. пробег мусоровоза сократился на 30% по сравнению с ноябрем того же года, но эксплуатационный расход топлива практически не изменился. Это связано с дополнительной работой мусоровоза в технологическом режиме эксплуатации. Одновременно с этим установлено, что увеличение количества циклов полной загрузки/разгрузки мусоровоза, также не всегда приводит к увеличению эксплуатационного расхода топлива. Установлено, что в августе 2014 г., июне, октябре, ноябре 2015 г. наблюдалось снижение количества циклов полной загрузки/разгрузки мусоровоза, однако, эксплуатационный расход топлива в эти месяцы увеличивался, в сравнении с предыдущим. Это связано с тем, что за один рейс мусоровоза при полной загрузке кузова масса загружаемых отходов может отличаться в несколько раз. Таким образом, необходимы дополнительные

исследования, направленные на установление зависимости эксплуатационного расхода топлива от других параметров, например, таких как масса загружаемых отходов.

Для определения реального эксплуатационного расхода топлива при выполнении транспортной работы мусоровозом были проведены дополнительные исследования.

В соответствии с требованиями ГОСТ 20306-90 «Автомобильные средства. Топливная экономичность» мусоровозы находились в полностью исправном состоянии, укомплектованы и заправлены ГСМ в соответствии с нормативно-технической документацией. Двигатель, агрегаты и шины прошли надлежащую обкатку в соответствии с инструкцией предприятия-изготовителя и имели пробег (включая обкатку) не менее 3000 км [65].

Согласно предписаниям ГОСТа шины автомобиля не должны иметь повреждений и износа протектора более 50%, давление в них должно соответствовать норме. Применялись смазочные материалы, рекомендуемые заводом-изготовителем транспортного средства. Окна и вентиляционные люки при проведении испытаний были закрыты.

Перед испытаниями агрегаты и узлы автомобиля прогревались пробегом не менее 30 км при скорости движения 60 км/ч. Испытания проводились при температуре +20..+23 °С и давлении 743-749 мм.рт.ст., скорость ветра не превышала 3 м/с.

Для проведения испытаний были выбраны опытные водители, со стажем вождения не менее 5 лет.

Измерение расхода топлива производилось методом «доливки бака до полного». Порожний мусоровоз выезжал на маршрут. На заправочной станции заполнялся топливный бак до крышки. После этого мусоровоз следовал по маршруту. После окончания маршрута на той же колонке заливалось топливо в бак до крышки. Таким образом, определялось количество израсходованного топлива [65]. В качестве измерительного дорожного участка был выбран кольцевой маршрут. Дорога, на которой проводился эксперимент, имела

гладкое, сухое и чистое асфальтобетонное покрытие. При проведении испытаний мусоровоз двигался в одном направлении. Определялось время прохождения измерительного участка, пробег и количество израсходованного топлива. Эксперимент проводился в течение 3 смен. Мусоровоз совершил 8 рейсов.

Рекомендуемая ГОСТом операционная карта городского цикла на дороге не использовалась, так как целью эксперимента было выявление влияния различных факторов на расход топлива, а не контрольный расход топлива.

Режим работы мусоровоза выглядит следующим образом. Порожний мусоровоз выезжал на маршрут. На заправочной станции заполнялся топливный бак до крышки. После этого мусоровоз следовал по маршруту. После окончания маршрута на той же колонке заливалось топливо в бак до крышки. Таким образом, определялось количество израсходованного топлива.

В ходе эксперимента в журнале наблюдений дополнительно фиксировались масса загружаемых отходов, объем и количество поднимаемых баков, время работы специального оборудования и время движения мусоровоза между контейнерными площадками. Измерение массы ТКО проводилось в процессе загрузки бортовым измерительным устройством [37]. При въезде на полигон размещения ТКО мусоровоз проходил контрольное взвешивание на стационарных платформенных весах ВСА на полигоне, с погрешностью до 10 кг. Мусоровоз проходил процедуру взвешивания дважды: при въезде и при выезде с полигона. Проводился анализ данных, полученных с помощью бортовой измерительной системы и определенных на стационарных платформенных весах. Отклонение данных не превышало 3 %.

Задача проведения эксперимента состояла в определении количества топлива, необходимого для совершения транспортной работы мусоровозом, и сравнении его с нормативным. Также необходимо было определить влияние массы перевозимых отходов на расход топлива.

По действующим методическим рекомендациям был рассчитан нормативный расход топлива мусоровоза на каждом рейсе и проведено

сравнение с экспериментальными данными (рис. 1.3). Из полученных данных видно, что нормативный расход топлива может превышать реальный эксплуатационный на 40%.

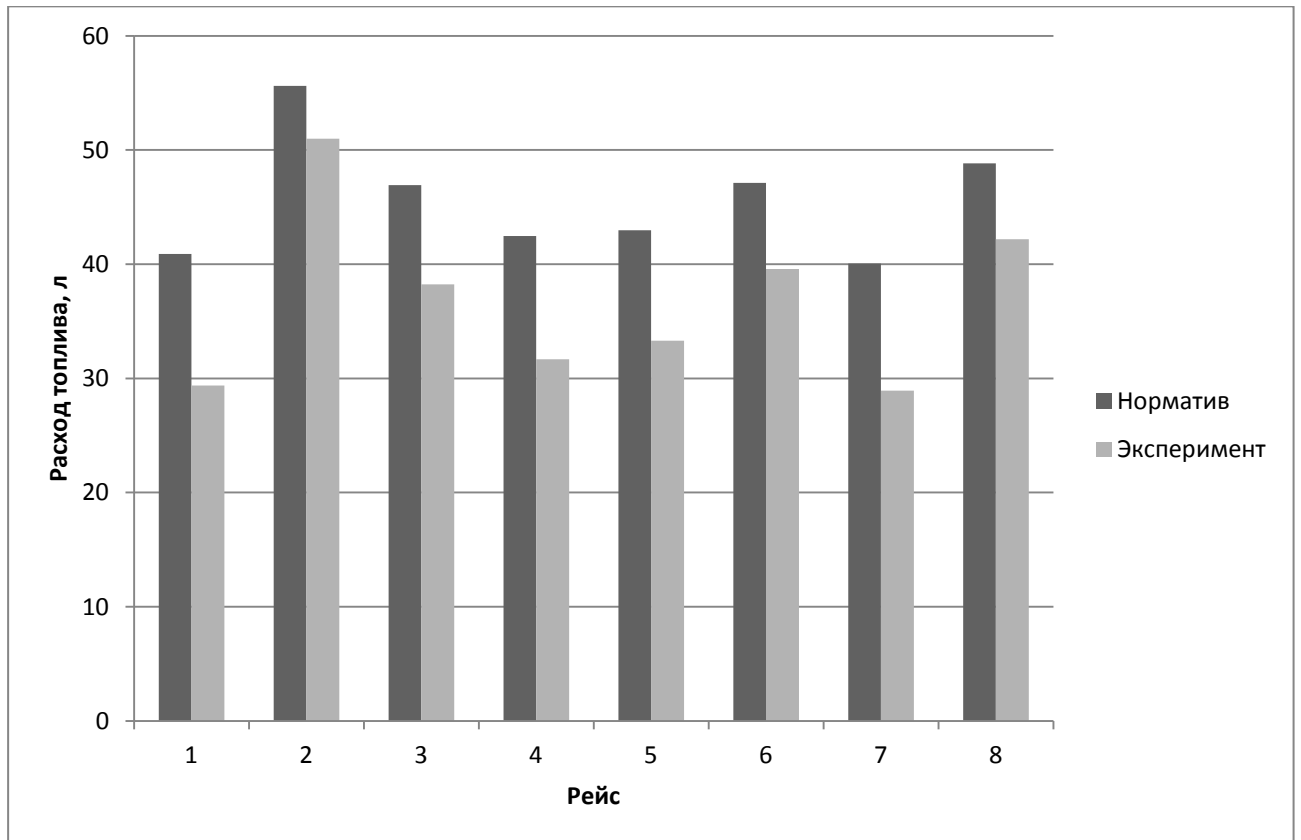


Рис. 1.3. Сравнение данных нормативного и экспериментального расхода топлива

В ходе эксперимента дополнительно фиксировались масса загружаемых отходов, объем и количество поднимаемых баков, время работы специального оборудования и время движения мусоровоза между контейнерными площадками. Масса отходов определялась на стационарных платформенных весах ВСА на полигоне, с погрешностью до 10 кг. Мусоровоз проходил процедуру взвешивания дважды: при въезде и при выезде с полигона. Масса отходов на исследуемых рейсах изменялась от 3880 до 7220 кг, объем вывезенных отходов – от 69,5 до 101,5 м<sup>3</sup>, а плотность ТКО варьировалась от 46,3 до 74,6 кг/м<sup>3</sup>.

Было установлено, что выполненная работа и количество топлива, необходимое для выполнения одного цикла загрузки/разгрузки мусоровоза,

изменялись в зависимости от массы вывезенных отходов и количества загруженных баков, а расход топлива мусоровоза в технологическом режиме эксплуатации  $Q_1$  составляет до 25-30% от общего расхода топлива. Существующие надбавки не отражают и не учитывают все условия эксплуатации мусоровоза в технологическом режиме работы, поэтому на АТП нормы, как правило, рассчитываются по верхнему пределу, что не позволяет корректно определить перерасход топлива и выявить причину этого перерасхода: плохое техническое состояние специального оборудования, утечки в гидравлической системе, неквалифицированное вождение, хищение и др.

Таким образом, исследования направленные на корректировку действующих методических рекомендаций по определению нормативного расхода топлива мусоровозов являются актуальными и требуют введения дополнительного коэффициента корректировки расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации  $Q_1$  в зависимости от массы и объема вывезенных отходов.

### **1.3. Методы определения расхода топлива на автомобилях.**

Существуют различные методы определения расхода топлива. На автомобильном транспорте для определения эксплуатационного расхода топлива получили распространение следующие методы:

1. Объемный, по уровню топлива в баке;
2. Объемный, с использованием расходомеров топлива;
3. С использованием бортовых систем контроля;
4. «Доливкой до полного»;
5. Массовый (весовой).

Точный объем топлива в баке автомобиля определяется с помощью датчика уровня топлива (рис.1.4). Может применяться как штатный датчик указателя уровня топлива, так и дополнительный – в системах контроля расхода топлива и мониторинга транспорта [30].



Рис. 1.4. Датчики уровня топлива в баке.

Существует несколько видов датчиков уровня топлива: поплавковый резисторный – штатный; и внештатные – поплавковый магнитострикционный, емкостной и ультразвуковой [15].

По способу преобразования сигнала различают: аналоговые, частотные и цифровые. Аналоговые датчики уровня топлива просты по конструкции и надежны в эксплуатации, но подвержены влиянию помех и скачков напряжения. Частотные – лучше защищены от внешних воздействий и выдают более стабильные показания. Цифровые датчики уровня топлива являются наиболее точными. Они защищены от внешних факторов. Их стоимость не значительно превышает стоимость частотных или аналоговых.

Точность метода определяется, в основном, метрологическими характеристиками измерительного средства – датчика уровня.

Измерение фактического расхода топлива на автомобиле осуществляется с помощью системы, состоящей из двух основных подсистем – датчика уровня топлива и модуля регистрации, обработки, хранения и передачи данных.

Основная сложность при использовании данного метода – это аппаратная реализации второй подсистемы, т.е. аппаратуры регистрации, хранения и дистанционной передачи данных [8].

На сегодняшний день существует достаточно большое количество различных по принципу работы, форме и техническим способностям

расходомеров топлива. Большинство расходомеров, продающихся на отечественном рынке, являются импортными изделиями либо частично, либо полностью. Отечественные расходомеры, к сожалению, уступают импортным, кроме того их количество на рынке сокращается [69].

Датчик расхода топлива является проточным прибором учета общего объема топлива, проходящего через камеру сгорания во время работы транспортного средства.

Существует 2 вида расходомеров: однокамерные и дифференциальные.

Однокамерные датчики расхода топлива устанавливаются на магистраль подачи топлива в двигатель (рис.1.5). При этом для корректного подсчета топлива на дизельном двигателе необходимо перенести обратную магистраль, по которой неизрасходованное топливо будет поступать в бак, до расходомера. Такие датчики стоят дешевле дифференциальных и их можно устанавливать на автомобили, где конструкция двигателя позволяет перенести обратную топливную магистраль без последствий, иначе необходима установка дифференциального датчика расхода топлива.



Рис.1.5. Однокамерный расходомер топлива DFM.

Дифференциальный датчик расхода топлива – это двухкамерное изделие, состоящее из двух откалиброванных однокамерных расходомеров, один из которых устанавливается на канал подачи топлива, а другой — на канал

«обратки» топлива (рис.1.6). Встроенная электроника учитывает разницу между прямым и обратным потоками топлива и выдает показатель фактического расхода.



Рис. 1.6. Дифференциальный расходомер топлива DFM.

Схема подключения расходомера с двумя датчиками на дизельный двигатель представлена на рис. 1.7 [70].

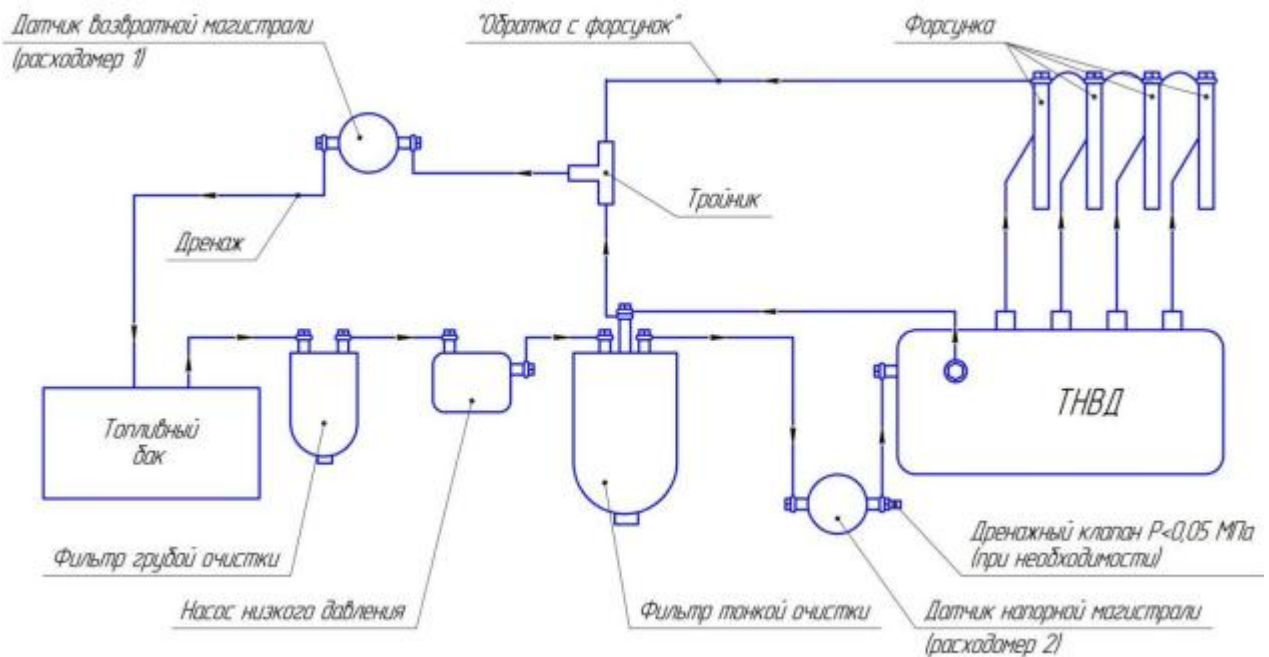


Рис.1.7. Схема подключения расходомера с двумя датчиками.

Существует достаточно много нюансов, связанных с работой расходомеров с двумя датчиками, например: проведение опытов по энергетической оценке с лопастными расходомерами на двигателях с

системой Common Rail в большинстве случаев не дает положительных результатов. При работе на холостом ходу раскручивается больше датчик слива топлива в бак, и в начале опыта расходомер больше времени показывает ноль. Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что вышеперечисленные приборы для измерения расхода топлива имеют такие недостатки, как неудобство эксплуатации, отсутствие учета слива топлива с форсунок и ТНВД, небольшой диапазон измерений и др. [69]. Мобильные расходомеры имеют низкую точность измерения потребления топлива двигателями внутреннего сгорания, а стационарные расходомеры, обладающие достаточно высокой точностью измерений, непригодны при дорожных экспериментальных исследованиях. Чаще всего, они используются при стендовых испытаниях при отсутствии влияния дорожных факторов (вибраций и колебаний автомобилей) [20].

Измерение текущего расхода топлива и вычисление на его основе суммарного объема израсходованного топлива при помощи данного метода, характеризуется высокой стоимостью, требованиями к чистоте топлива, зависимостью показаний от физико-химических свойств топлива и рядом других факторов, которые сдерживают распространение данного способа контроля расхода топлива [8].

Одним из возможных способов измерения является использование бортовых систем контроля расхода топлива автомобиля. Достаточно большое количество современных транспортных средств имеют на борту шину CAN (англ. Controller Area Network). Эта шина служит для передачи информации между различными устройствами и датчиками автомобиля, в том числе и информации по расходу и уровню топлива в баке.

Преимуществом данного метода является отсутствие необходимости дополнительных датчиков.

Основной недостаток этих систем в высокой погрешности измерений, так как они предназначены, в первую очередь, для измерения мгновенного расхода топлива на основе показаний датчика уровня топлива в баке и датчиков

системы управления подачей топлива [20]. Также, применение данного метода невозможно на транспортных средствах, в которых отсутствует шина CAN, т.е. на большинстве мусоровозов.

Суть метода «доливки до полного» сводится к измерению количества топлива, доливаемого в бак автомобиля до заполнения по окончании выполнения какого-либо количества транспортной работы. Данный метод подразумевает необходимость полностью заправить топливный бак горючим перед началом выполнения транспортной работы. Таким образом, количество доливаемого топлива будет соответствовать расходу горючего на предшествующую доливке транспортную работу. Доливка перед и после транспортной работы должна осуществляться на одной и той же площадке, что позволит исключить влияние наклона автомобиля [16].

Однако, существенный недостаток данного метода – это недопустимо большое значение относительной погрешности при определенных (относительно малых) величинах пробега, т.е. при малом расходе топлива. Также при данном методе испытаний возникают случайные погрешности, связанные с неточностью доливки бака и определения уровня заполнения бака.

Массовым (весовым) методом измеряется масса топлива в таре и транспортных средствах путем взвешивания на весах. Работа двигателя осуществляется из измерительной емкости. Измерение фактически израсходованного топлива автомобилем производится путем взвешивания тары с топливом. Для взвешивания нефтепродуктов применяются шкальные или циферблатные весы. Масса взвешиваемых нефтепродуктов не должна превышать грузоподъемности весов. Масса нефтепродукта определяется как разность между массой брутто и массой тары. Для снижения влияния внешних условий на погрешность измерений весовые устройства должны быть защищены от ветра и осадков. Погрешность измерений зависит от точности весового оборудования. При данном способе измерения существует возможность определять достаточно малое изменение веса топлива, т.е. небольшой расход.

Данный метод достаточно дешевый, не требует внедрения изменений и дополнительных устройств в конструкцию автомобиля, также обладает высокой точностью.

По результатам анализа были сформулированы критерии сравнения методов: точность, при малых изменениях количества топлива; универсальность; простота внедрения; стоимость. Данные анализа методов измерения расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровоза были структурированы и представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Результаты анализа методов определения расхода топлива автомобилей.

Метод	Критерии сравнения			
	Точность при малых изменениях	Универсальность	Простота внедрения	Стоимость
Объемный, по уровню топлива в баке	Низкая	Да	Сложно	Средняя
Объемный, с использованием расходомеров топлива	Низкая	Нет	Сложно	Высокая
С использованием бортовых систем контроля	Низкая	Нет	Просто	Низкая
«Доливкой до полного»	Низкая	Да	Просто	Низкая
Массовый (весовой)	Высокая	Да	Просто	Низкая

По результатам проведенного анализа было установлено, что массовый (весовой) метод измерения расхода топлива при проведении экспериментальных исследований на мусоровозе при работе в технологическом режиме эксплуатации является наиболее предпочтительным.

#### 1.4. Выбор объекта исследования.

На примере города Перми была рассмотрена система обращения с твердыми коммунальными отходами. На территории города действуют 3 полигона размещения отходов: полигон ТКО д. Софроны, полигон ТКО г. Краснокамска, полигон ТКО ЗАТО Звездный (Рис.1.8).

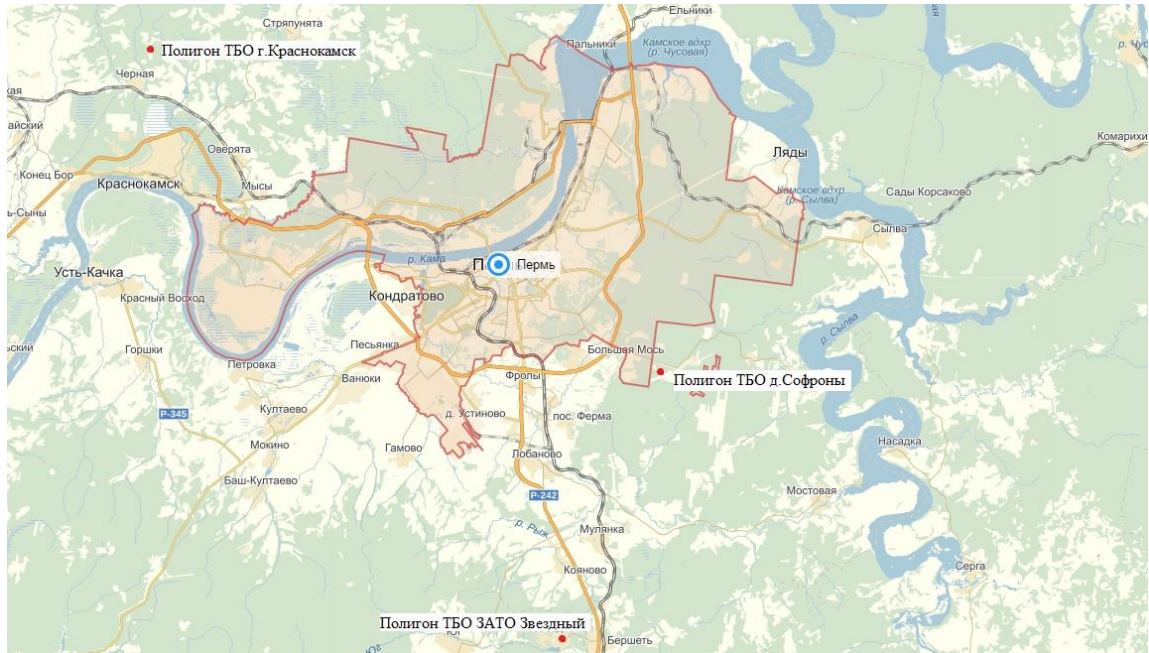


Рис. 1.8. Размещение полигонов ТКО, обслуживающих г.Пермь

На этих полигонах в течение нескольких дней проводилось наблюдение за активностью мусоровозов. Во время наблюдений фиксировались следующие параметры: порядковый номер, время прибытия, марка шасси мусоровоза, государственный регистрационный знак, вид загрузки, дополнительные сведения. Для устранения повторений мусоровозов в списке проводилось сравнение государственных регистрационных знаков. Анализ данных проводился по числу мусоровозов и виду загрузки. Также было проведено сравнение с ранее полученными данными аналогичного исследования.

Данные по распределению коммунальных машин по полигонам г. Перми представлены на рисунке 1.9.

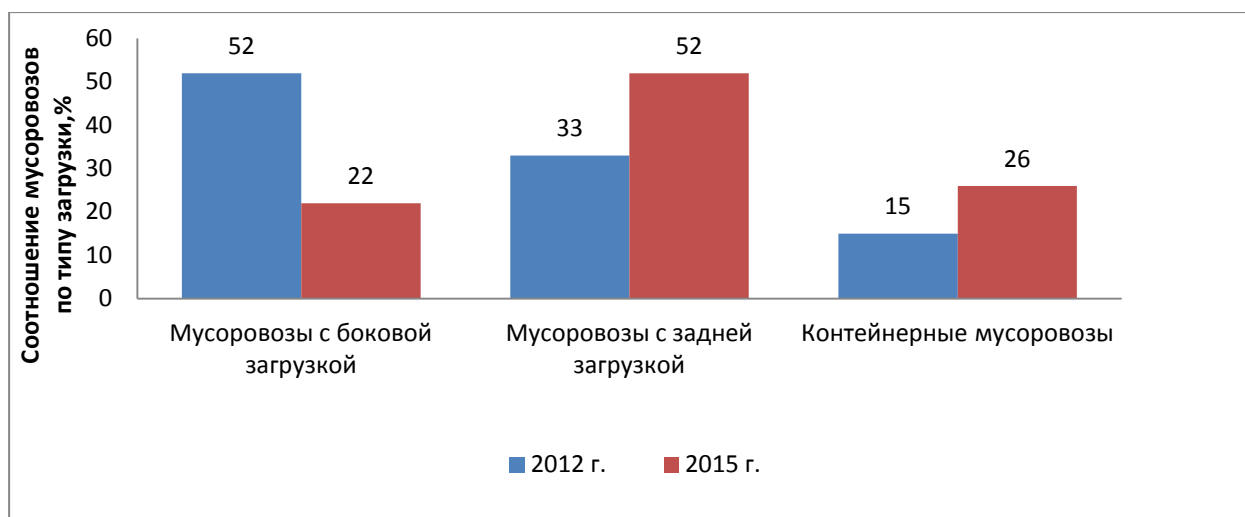


Рис. 1.9. Распределение мусоровозов по типу загрузки в г.Перми

В г. Перми была зафиксирована активность 78 мусоровозов. По данным исследований за три года парк мусоровозов г. Перми в значительной степени изменился. В 2015 г. доля мусоровозов с задней загрузкой увеличилась с 33% до 52% по сравнению с 2012 г. Данные изменения обусловлены внедрением более эффективной системы сбора и транспортирования отходов, более совершенной и универсальной конструкцией мусоровозов с задней загрузкой, их приспособленностью к контейнерам различных типов, в том числе «Евроконтейнерам».

Для проведения экспериментальных исследований был выбран наиболее распространенный мусоровоз с задней загрузкой БМ-53229-1 производства НПК «Коммунальные машины» г. Москва (Рис.1.10).



Рис.1.10. Мусоровоз БМ-53229-1.

Мусоровоз БМ-53229-1 произведен на базе шасси КАМАЗ-65115 используется с целью погрузки ТКО, которые находятся в специальных контейнерах. В задней части машины размещены загрузочные устройства, предназначенные для контейнеров различного объема от 0,8 м<sup>3</sup> до 7,5 м<sup>3</sup>. Объем кузова – 18,5 м<sup>3</sup>. Масса загружаемых ТКО – не более 11000 кг [61, 43]. На шасси КАМАЗ-65115 установлен дизельный двигатель КамАЗ-740.65, объемом 11760 см<sup>3</sup>, максимальной мощностью 176 кВт (при 1900 мин-1), максимальный крутящий момент 980 Нм (при 1300 мин-1) [71]. Технические характеристики мусоровоза БМ-53229-1 приведены в Приложении А.

### **1.5. Описание работы мусоровоза в технологическом режиме эксплуатации.**

Основные режимы работы мусоровозов представлены на рисунке 1.11. Транспортный режим обуславливается работой базового шасси мусоровоза для выполнения транспортной работы по перевозке груза.

Технологический режим работы мусоровоза, можно разделить на пять основных этапов работы:

1. Подъем/опускание бака с ТКО;
2. Прессование ТКО в кузове;
3. Разгрузка кузова;
4. Открытие заднего борта;
5. Работа системы в режиме холостого хода.

Работа мусоровоза в технологическом режиме осуществляется следующим образом. Двигатель работает на постоянных оборотах, КПШ находится в нейтральном положении. Оператор включает коробку отбора мощности, которая приводит в действие гидронасос гидравлической системы автомобиля. Коробка отбора мощности управляется дистанционно из кабины водителя с помощью электропневматического клапана.

Оператор автомобиля управляет рычагами гидрораспределителя и приводит в действие исполнительные механизмы. При нейтральном положении

рычагов управления гидрораспределителя напорная линия соединена со сливной магистралью и рабочая жидкость (РЖ) из насоса поступает в бак. При перемещении рычагов управления гидрораспределителем, золотники гидрораспределителя переходят в крайние положения и РЖ под давлением поступает к исполнительным устройства [37]. На каждом этапе в качестве исполнительного устройства, осуществляющего работу, выступают гидравлические цилиндры двухстороннего действия, отличающиеся геометрическими параметрами.

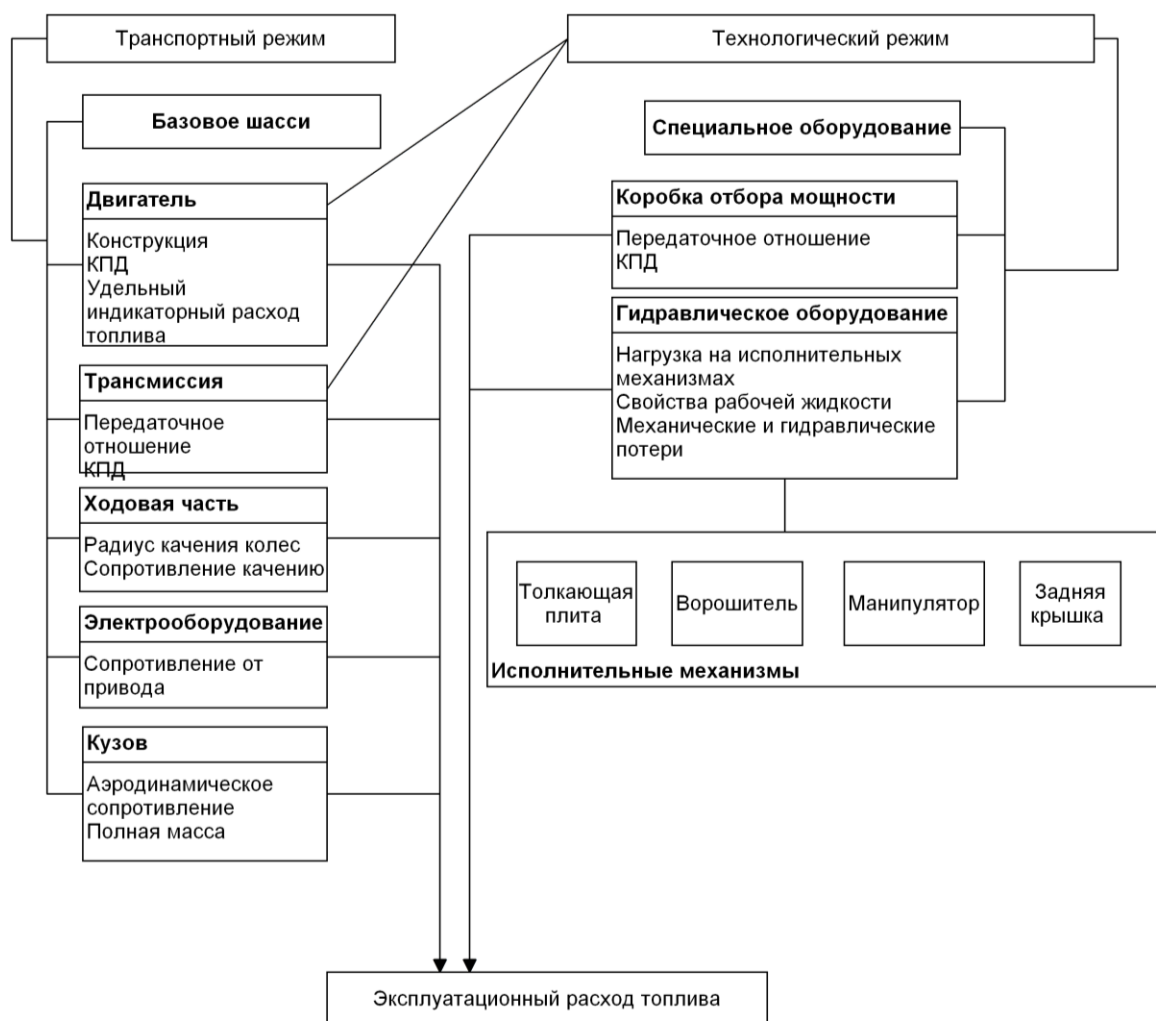


Рис. 1.11. Режимы работы мусоровозов.

Процесс загрузки и разгрузки мусоровоза осуществляется следующим образом. Мусоровоз подъезжает на контейнерную площадку с контейнерами, заполненными отходами. Водитель-оператор устанавливает автомобиль в

положение удобное для загрузки контейнеров. Заполненный контейнер фиксируется в загрузочном устройстве мусоровоза, с помощью которого осуществляется подъем и разгрузка контейнера в загрузочный ковш. Из ковша отходы перемещаются уплотняющей плитой в кузов мусоровоза и уплотняются. Для повышения степени уплотнения отходов уплотняющую плиту устанавливают на соответствующем положении от задней крышки и ею поджимают отходы, перемещаемые уплотняющей плитой [27]. Разгрузка отходов происходит при открытой задней крышке с помощью выталкивающей плиты или самосвально при подъеме кузова.

Процессы загрузки, разгрузки, прессования твердых коммунальных отходов зависят, прежде всего, от массы загружаемых отходов. При подъеме перегруженного контейнера с ТКО, усилие, возникающее в гидравлическом цилиндре, возрастает, соответственно увеличивается нагрузка на валу насоса и коленчатом валу двигателя базового шасси автомобиля. Таким образом, при постоянной частоте вращения двигателя, возрастает подача топлива для преодоления заданной нагрузки. Аналогично расход топлива при уплотнении и разгрузке отходов, изменяется в зависимости от массы загружаемых отходов.

Масса загружаемых отходов не влияет на расход топлива при открытии заднего борта и работе системы в режиме холостого хода. Расход топлива при данных операциях принимается постоянным.

Таким образом, необходимо разработать математическую модель, которая связывала бы расход топлива автомобиля с процессами загрузки/разгрузки ТКО, и методику дифференцированного корректирования норм расхода топлива мусоровозов для оптимизации работы и корректного учета горюче-смазочных материалов на АТП.

При работе мусоровоза в технологическом режиме задействовано следующее оборудование: двигатель, коробка передач и специальное оборудование. Специальное оборудование мусоровоза включает коробку отбора мощности, гидравлическое оборудование и исполнительные механизмы. В состав гидравлического оборудования мусоровоза входят: насос,

гидрораспределитель, предохранительные клапаны, гидроцилиндры, фильтры, масляный бак, трубопроводы [37]. В состав исполнительных механизмов входят: манипулятор, толкающая плита, подающая плита, прессующая плита, задняя крышка [2].

Оборудование мусоровозов, задействованное в технологическом режиме эксплуатации, рассмотрено на примере объекта исследования. На мусоровозе БМ-53229-1 на базе шасси Камаз-65115 установлена десятиступенчатая коробка передач модели 154, состоящей из основной пятиступенчатой коробки передач и переднего двухступенчатого редуктора делителя передач. На правый установочный люк картера коробки передач устанавливается коробка отбора мощности (КОМ). Отбор мощности происходит при стоянке автомобиля.

Гидросистема мусоровоза БМ-53229-1 состоит из двух контуров, соединенных с одним баком. Первый контур гидросистемы состоит из насоса, гидрораспределителей, гидроцилиндров прессующей плиты и подающей плиты, дросселя, предохранительных клапанов. Второй контур гидросистемы состоит из насоса, всасывающего фильтра, крана шарового, гидрораспределителя, гидроцилиндров опрокидывателя с дросселями, гидроцилиндров заднего борта с дросселями и обратным клапаном, гидроцилиндра выталкивающей плиты. Для обеспечения необходимой степени уплотнения мусора в кузове выталкивающая плита оказывает соответствующее сопротивление усилию прессования за счет установки в сливной магистрали гидроклапана давления, настроенного на 0,8 МПа.

Характеристики элементов гидросистемы объекта исследований приведены в Приложении Б [9].

Регулирование оборотов холостого хода в режиме отбора мощности может осуществляться как педалью подачи топлива, так и рычагом регулировки оборотов холостого хода, расположенным на рулевой колонке. Функции рычага регулировки оборотов холостого хода (в отдельных комплектациях автомобилей) могут осуществлять переключатель регулирования холостых оборотов [71]. Также регулирование на некоторых моделях автомобилей может

осуществляться с помощью пневматического цилиндра, расположенного под капотом автомобиля.

### **Выводы по главе 1.**

На основе проведенного анализа были сделаны следующие выводы:

1. Повышение эффективности деятельности АТП наиболее действенно и рационально за счет снижения затрат на топливо, которые могут достигать 30% от общего объема эксплуатационных затрат;

2. Исследования, направленные на дифференцированное корректирование действующих норм расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровозов, являются актуальными;

3. Выбран метод измерения расхода топлива при проведении экспериментальных исследований. На основе проведенного анализа установлено, что весовой (массовый) метод является наиболее предпочтительным. Выбран объект исследования – наиболее распространенный мусоровоз с задней загрузкой БМ-53229-1.

4. Установлена необходимость разработки математической модели формирования расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровозов и методики дифференцированного корректирования норм расхода топлива мусоровозов для оптимизации работы и корректного учета горюче-смазочных материалов на АТП.

## ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА РАСХОДА ТОПЛИВА.

### 2.1. Цели и задачи математического моделирования.

Целью моделирования процесса расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровоза является прогнозирование эксплуатационного расхода топлива при совершении технологических операций по загрузке и разгрузке кузова мусоровоза, с учетом массы ТКО и частоты вращения двигателя базового шасси.

При моделировании процесса расхода топлива целесообразно использовать рациональную математическую модель. Рациональные модели (формулы) строго логично вытекают из законов физики, отражают закономерность развития исследуемого явления, объясняют связи с внутренними и внешними факторами. Они носят всеобщий характер и позволяют теоретически исследовать все стороны явления [24].

Задачи разработки математической модели:

- выбор параметров, зависимостей и переменных, характеризующих работу специального оборудования;
- выбор допущений при создании математической модели;
- формализация процессов, происходящих в гидросистеме и двигателе мусоровоза, и получение математических соотношений;
- разработка компьютерной программы на основе математической модели;
- проверка адекватности модели реальному объекту.

При моделировании необходимо учитывать следующие параметры:

- Величину нагрузки на исполнительном механизме;
- Время операции;
- Тип и частоту вращения двигателя базового шасси;
- КПД гидравлической системы, насоса, привода;
- Геометрические характеристики исполнительных механизмов;
- Температуру рабочей жидкости;
- Пространственное положение грузочного устройства.

На следующем этапе необходимо выбрать подход и математическое описание модели, наиболее полно удовлетворяющий заданным требованиям.

## **2.2. Выбор и обоснование подхода к математическому моделированию.**

Система привода специального оборудования мусоровоза состоит из набора взаимосвязанных элементов. Поэтому математическая модель такой системы должна отражать как динамику функционирования отдельных элементов, так и системы в целом [64].

Модель формирования расхода топлива мусоровоза в технологическом режиме эксплуатации можно представить совокупностью работы двух подсистем:

- подсистема «двигатель внутреннего сгорания – гидравлический насос» (рис. 2.1, а);

- подсистема «гидравлический насос – гидроцилиндр» (рис. 2.1, б).

Общая структурная схема модели представлена на рис. 2.1.

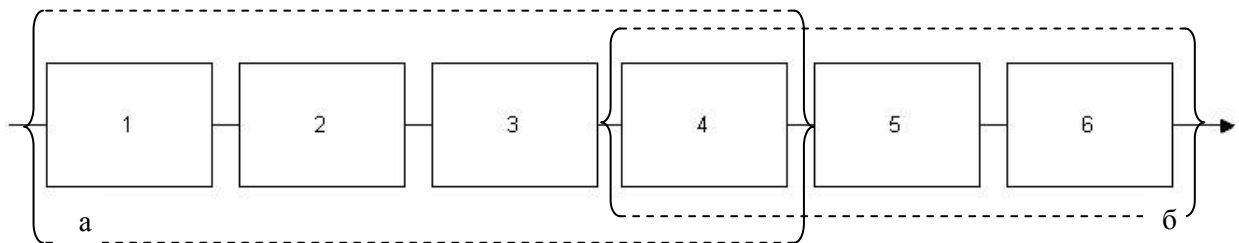


Рисунок 2.1 - Структурная схема модели

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

Двигатель внутреннего сгорания (1) через коробку передач (2) и коробку отбора мощности (3) приводит в движение вал гидравлического насоса (4). Насос нагнетает рабочую жидкость в гидрораспределитель (5). Жидкость под давлением поступает в рабочий гидроцилиндр (6). В случае, когда одновременно работают несколько гидроцилиндров, поток жидкости делится.

Для каждого элемента структурной схемы модели необходимо составить математическое описание.

Подсистему «гидравлический насос – гидроцилиндр» необходимо рассматривать как гидропривод, состоящий из элементов: гидравлический насос, гидрораспределитель, гидроцилиндр. На сегодняшний день математическое моделирование гидроприводов и процессов, протекающих в них, широко разработано исследователями.

Каждый ученый балансирует между стремлением учесть большинство факторов и физических процессов, протекающих в гидроприводе, и минимального усложнения модели. Для снижения количества допущений, моделирование процессов, происходящих в исследуемом гидроприводе, целесообразно строить на основе законов сохранения массы, энергии и количества движений [51, 62].

К самым простым относятся модели гидропривода, для которых характерны следующие допущения:

- жидкость несжимаема;
- течение жидкости рассматривается как одномерное и квазистационарное;
- температура РЖ постоянна, т.е. процесс изотермический;
- приведенная масса постоянна;

Подробнее подобные модели рассмотрены в работах Б.Ф. Гликмана, Э. Льюиса и В.Н. Прокофьева [10, 56, 33].

Работа специального оборудования мусоровоза в реальных условиях эксплуатации осуществляется при постоянном изменении температуры окружающего воздуха, и, соответственно, температуры рабочей жидкости. Таким образом, допущение о постоянстве температуры РЖ при моделировании системы «насос-гидроцилиндр» принимать нельзя.

Согласно подходу, рассматриваемому в работах Подчуфарова Б.М., Подчуфарова Ю.Б. и др. [10, 50, 51, 49], гидравлическая жидкость считается сжимаемой в сосредоточенном объеме (обычно в гидродвигателе). Также

отличие подхода Подчуфарова Б.М. и Подчуфарова Ю.Б. от более простых – это учет изменения энтропии (температуры) жидкости. Если теплота к жидкости на границах и в объеме не подводится (как, например, в гидросистеме мусоровоза), то учет изменения энтропии позволит определить распределение температуры в поле давления.

В более сложных моделях учитываются волновые процессы в трубопроводах. Решение подобных задач подробно рассмотрено в работах Б.Ф. Гликмана, С.К. Годунова, В.А. Федорца [10, 13, 63].

Для математического моделирования гидропривода мусоровоза достаточно считать жидкость сжимаемой в сосредоточенном объеме, т.к. в задачи не входит изучение гидравлических ударов, скорости открытия/закрытия клапанов, поэтому значительно усложнять модель учетом волновых процессов нет необходимости.

Разработанная математическая модель позволит прогнозировать изменение давления, температуры и плотности РЖ в зависимости от режима работы специального оборудования, массы поднимаемого груза и пространственного положения манипулятора.

В модели приняты следующие допущения: жидкость сжимаема в сосредоточенном объеме, течение жидкости квазистационарное в рассматриваемом объеме, химический состав взаимодействующих веществ и материалов гидросистемы постоянен, изменение температуры учитывается для каждого замкнутого объема отдельно (т.е. при постоянном объеме), процесс подачи РЖ происходит практически мгновенно, воздействием волновых явлений в трубопроводах пренебрегаем, подача насоса постоянна.

При моделировании подсистемы «двигатель внутреннего сгорания – гидравлический насос» был выбран подход построения топливной характеристики автомобиля с помощью многопараметровой характеристики двигателя (МПХ) [47, 3, 67]. Данный подход основывается на следующем. При моделировании подсистемы «гидравлический насос – гидроцилиндр» определяется зависимость мощности  $N_a$ , необходимой для работы специального

оборудования, от нагрузки на штоке гидроцилиндра (массы поднимаемых отходов). Кроме того, известны передаточные числа привода насоса от коленчатого вала двигателя  $\eta_{пр}$  и рабочая частота вращения двигателя  $n$ . Тогда для ряда выбранных значений массы поднимаемых отходов можно определить мощность двигателя  $N_e$ :

$$N_e = N_a / \eta_{пр} \quad (2.1)$$

По этим данным находятся на МПХ двигателя (в координатах  $M_e - n$ ) соответствующие точки пересечения ординаты частоты вращения с линиями постоянной мощности или вычисляется крутящий момент, исходя из полученных значений мощности и частоты вращения. Таким образом, получается характеристика момента сопротивления потребителя, приведенного к валу двигателя. Пересечение этой характеристики с линиями постоянных удельных расходов топлива позволяет построить зависимости  $g_e = f_1(m_o)$  и  $G_T = f_2(m_o)$ . Затем с учетом плотности топлива ( $\rho_T$ ) и времени работы специального оборудования ( $t_{техн}$ ) строится зависимость расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации  $Q_{техн}$  от массы загружаемых отходов ( $m_o$ ), т. е.  $Q_{техн} = f_3(m_o)$  в литрах на 1 т груза.

На рисунке 2.2. приведена многопараметровая характеристика двигателя на примере 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. На высоких и низких оборотах наблюдается ухудшение топливной экономичности. Существует область минимальных расходов топлива, к которой и следует стремиться при исследовании процесса расхода топлива.

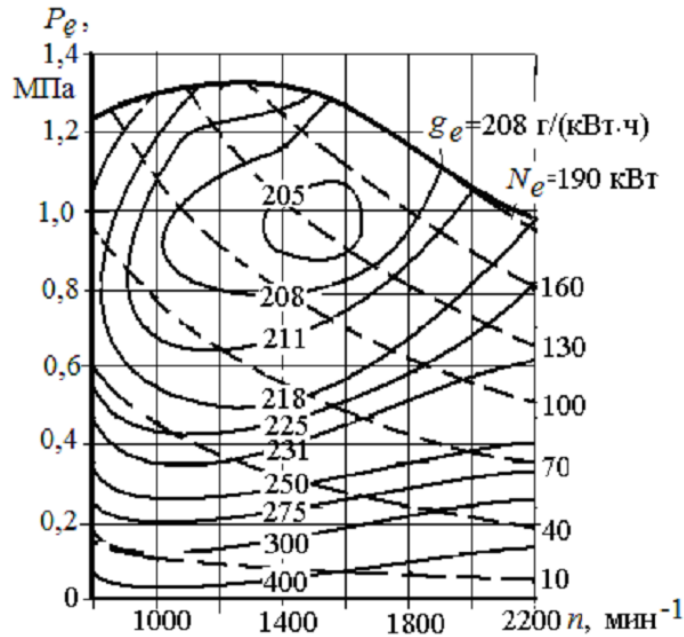


Рисунок 2.2. Многопараметровая характеристика дизеля Камаз-740.

В модели приняты следующие допущения: частота вращения двигателя постоянна; двигатель полностью исправен и прогрет до рабочих температур; процессы, протекающие в системе топливоподачи, рассматриваются как изотермические; теплообмен с окружающей средой не учитывается.

Рассматриваемый подход удовлетворяет требованиям данного исследования и позволяет полностью решить поставленные задачи. Применение более сложных подходов, учитывающих газодинамические и гидромеханические процессы в двигателе [64], не целесообразно, ввиду неоправданно больших трудозатрат при моделировании.

Далее необходимо провести математическое моделирование работы рассмотренных подсистем.

## 2.3. Математическое моделирование подсистемы «гидравлический насос – гидроцилиндр».

### 2.3.1. Расчет гидравлического привода автомобиля.

Подсистему «гидравлический насос – гидроцилиндр» необходимо рассматривать как гидропривод, состоящий из элементов: гидравлический насос, гидрораспределитель, гидроцилиндр.

Математическое описание функционирования насоса состоит из двух подсистем уравнений [50]:

а) подсистема, описывающая изменение состояния рабочего тела, включает [37]:

- уравнение скорости изменения плотности (удельного объема) рабочего тела;
- уравнение скорости изменения давления рабочего тела;
- скорость изменения температуры получена с помощью уравнения состояния Ван-дер-Ваальса;

б) подсистема, описывающая движение твердых звеньев, включает [55]:

- уравнение перемещения поршня насоса [55]:

$$X_n = \frac{D}{2} \cdot \sin(\gamma) \cdot (1 - \cos(\beta)), \quad (2.2)$$

- уравнение скорости поршня насоса [55]:

$$V_n = \Omega \cdot \frac{D}{2} \cdot \sin(\gamma) \cdot \sin(\beta), \quad (2.3)$$

где  $X_n$  – координата перемещения поршня насоса, м;

$V_n$  – скорость перемещения поршня насоса, м/с;

$D$  – диаметр диска насоса, м;

$\Omega$  – угловая скорость вращения вала насоса, м/с;

$\gamma$  – угол наклона диска, град;

$\beta$  – угол поворота диска, град.

Математическое описание функционирования гидроцилиндров аналогично по структуре описанию насоса и состоит их двух подсистем уравнений [55]:

а) подсистема, описывающая изменение состояния рабочего тела, включает [37]:

- уравнение скорости изменения плотности (удельного объема) рабочего тела;
- уравнение скорости изменения давления рабочего тела;
- скорость изменения температуры получена с помощью уравнения состояния Ван-дер-Ваальса.

б) подсистема, описывающая движение твердых звеньев, включает [50]:

- уравнение движения поршня гидроцилиндра

$$\frac{dV_g}{dt} = \frac{1}{m_p} \cdot (S_p \cdot \Delta p - R_n - \nu \cdot V_g), \quad (2.4)$$

- уравнение координаты перемещения поршня гидроцилиндра

$$\frac{dX_g}{dt} = V_g, \quad (2.5)$$

где  $X_g$  – координата перемещения поршня гидроцилиндра, м;

$V_g$  – скорость перемещения поршня гидроцилиндра, м/с;

$m_p$  – масса штока с поршнем гидроцилиндра, кг;

$S_p$  – площадь поршня, м<sup>2</sup>;

$R_n$  – нагрузка на штоке, Н;

$\nu$  – коэффициент трения;

$\Delta p$  – перепад давлений в левой и правой полости (относительно поршня) гидроцилиндра, Па.

Гидрораспределитель не имеет подвижных частей, представляет собой проточную полость постоянного объема, поэтому математическое описание его функционирования базируется только на изменении состояния рабочего тела [37].

Нагрузку на штоке гидроцилиндра  $R_n$  следует задавать с учетом пространственного положения подъемного устройства, поэтому необходимо произвести расчет пространственного положения загрузочного портала мусоровоза.

### 2.3.2. Расчет пространственного положения подъемного устройства автомобиля.

Расчет пространственного положения подъемного устройства проводится с целью определения изменения мгновенного расхода топлива при подъеме контейнера с ТКО. На рис. 2.2 представлена кинематическая схема подъемного устройства мусоровоза с задней загрузкой БМ-53229-1.

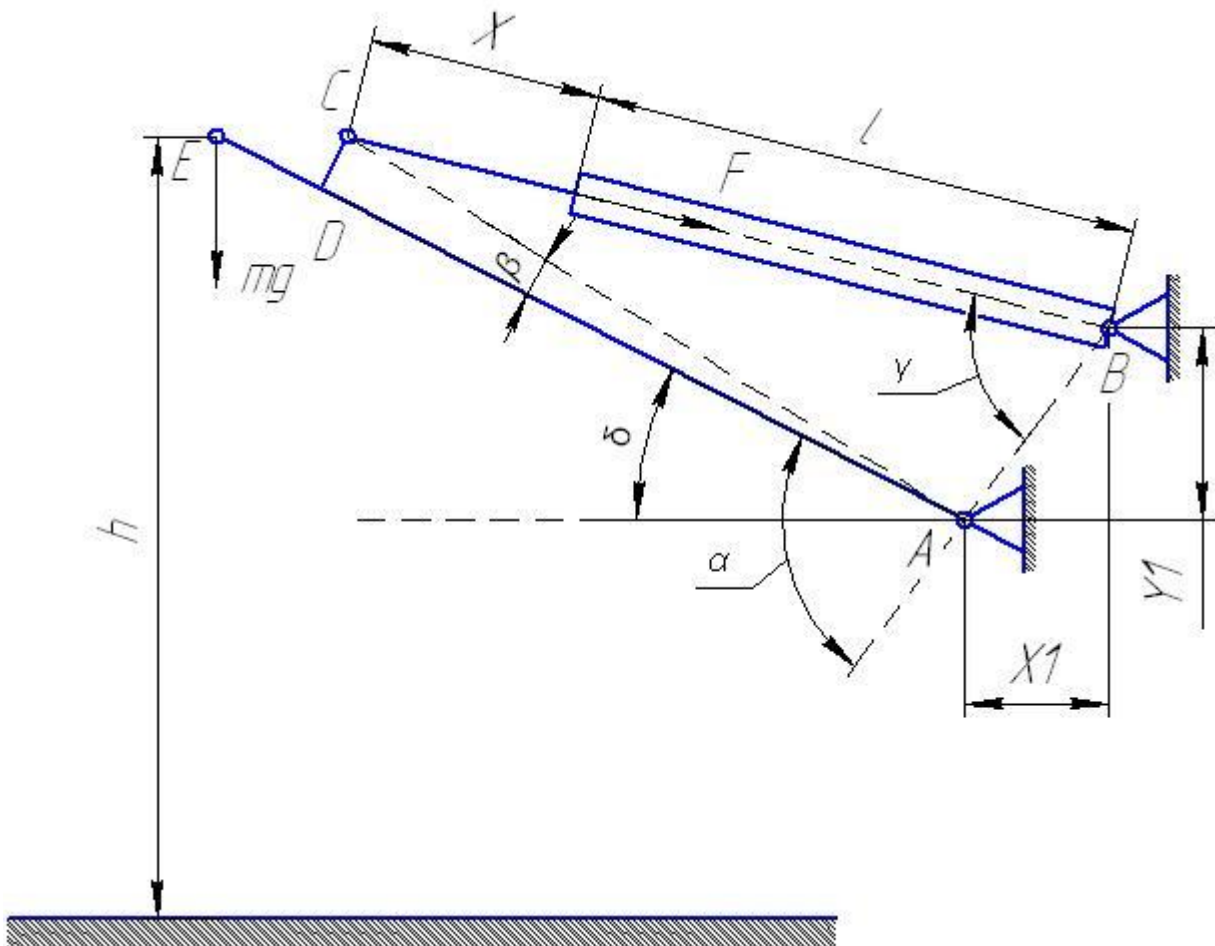


Рис. 2.2. Расчетная схема манипулятора мусоровоза БМ-53229-1.

Подъемное устройство мусоровоза является сложной механической системой, поэтому определение реакций связей с помощью уравнений равновесия является, слишком громоздким и малоприменимым. В данном случае

целесообразнее использовать принцип возможных перемещений, согласно которому условием равновесия системы сил, приложенных к манипулятору, поднимающему груз и подчиненному стационарным двусторонним и идеальным связям, заключается в равенстве нулю суммы элементарных работ нагрузки на штоке гидроцилиндра излома стрелы и веса груза на любом возможном перемещении системы из рассматриваемого положения [1]:

$$m \cdot g \cdot dh + R_n \cdot dx = 0, \quad (2.6)$$

где  $R_n$  – сила, действующая на шток гидроцилиндра, Н;

$dx$  – возможное перемещение поршня гидроцилиндра портальной загрузки, м;

$m$  – масса контейнера с ТКО, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$dh$  – возможное перемещение контейнера с ТКО, м.

Тогда из формулы (2.6), масса контейнера с ТКО будет равна:

$$m = -\frac{R_n \cdot dx}{g \cdot dh}, \quad (2.7)$$

Для того, чтобы связать возможное перемещение поршня гидроцилиндра  $dx$  с возможным углом перемещения портала, необходимо воспользоваться теоремой косинусов:

$$AC^2 = (x + L)^2 + AB^2 - 2(x + L)AB \cos \gamma, \quad (2.8)$$

где  $x$  – перемещение штока гидроцилиндра портальной загрузки, м;

$L$  – длина гидроцилиндра портальной загрузки, м;

$\gamma$  – угол между осью гидроцилиндра и прямой, соединяющей точки крепления рамы портала и гидроцилиндра к кузову мусоровоза, град.

$AB$  является гипотенузой в прямоугольном треугольнике  $AOB$  и находится как квадратный корень из суммы квадратов катетов:

$$AB = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2}, \quad (2.9)$$

где  $X_1, Y_1$  – расстояние между точками крепления рамы портала и гидроцилиндра портальной загрузки к кузову мусоровоза, м;

Аналогично, из треугольника  $ACD$  находим расстояние между креплением портала к кузову мусоровоза и шарниром гидроцилиндра  $AC$  и угол  $\beta$ :

$$AC = \sqrt{AD^2 + CD^2}, \quad (2.10)$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{CD}{AD}, \quad (2.11)$$

Преобразовав уравнение (2.8):

$$2(x+L)AB \cos \gamma = (x+L)^2 + AB^2 - AC^2, \quad (2.12)$$

Отобразив оси гидроцилиндра портальной загрузки и портала на прямую  $AB$ , получается соотношение:

$$(x+L) \cos \gamma = AB + AC \cos(\alpha + \beta), \quad (2.13)$$

Подставляя выражение (2.13) в (2.12):

$$2AB[AB + AC \cos(\alpha + \beta)] = (x+L)^2 + AB^2 - AC^2, \quad (2.14)$$

Полученное уравнение (2.14) записывается в дифференциалах относительно  $x$  и  $\alpha$ :

$$-2AB \cdot AC \sin(\alpha + \beta) d\alpha = 2(x+L) dx, \quad (2.15)$$

Таким образом, перемещение поршня гидроцилиндра  $dx$  можно найти по формуле:

$$dx = - \frac{AB \cdot AC \sin(\alpha + \beta)}{x+L} d\alpha, \quad (2.16)$$

Необходимо связать возможное перемещение контейнера  $dh$  с возможным углом перемещения портала  $d\alpha$ :

$$dh = AE \cos \delta d\delta, \quad (2.17)$$

Поскольку  $d\delta = d\alpha$ , равенство (2.17) можно записать в следующем виде:

$$dh = AE \cos \delta d\alpha, \quad (2.18)$$

Подставляя полученные соотношения в формулу (2.7), массу контейнера с ТКО можно определить из выражения:

$$mgAE \cos \delta d\alpha = R_n \frac{AB \cdot AC \sin(\alpha + \beta)}{x+L} d\alpha, \quad (2.19)$$

Таким образом, массу контейнера с ТКО при подъеме можно определить по формуле:

$$m = R_n \frac{AB \cdot AC \sin(\alpha + \beta)}{AE \cos \delta(x + L)g}, \quad (2.20)$$

Определить коэффициент изменения нагрузки на штоке гидроцилиндра в зависимости от пространственного положения портала можно из уравнения (2.20):

$$R_n = \frac{m \cdot AE \cos \delta(x + L)g}{AB \cdot AC \sin(\alpha + \beta)}, \quad (2.21)$$

Коэффициент  $k_{\text{ман}}$  можно представить в виде отношения геометрических характеристик подъемного устройства (формула 2.21). Таким образом, выражение 2.21 можно представить в виде:

$$R_n = k_{\text{ман}} \cdot m \cdot g \quad (2.22)$$

Давление в штоковой полости гидроцилиндра портальной загрузки  $p_1$  можно представить в виде:

$$p_1 = \frac{R_n}{S_{\text{п}} - S_{\text{шт}}}, \quad (2.23)$$

где  $S_{\text{п}}$  - площадь поршня гидроцилиндра, м<sup>2</sup>;

$S_{\text{шт}}$  - площадь штока гидроцилиндра, м<sup>2</sup>.

Подставляя уравнение (2.22) в (2.23), можно определить зависимость давления в штоковой полости гидроцилиндра от массы контейнера с ТКО в любой момент времени:

$$p_1 = \frac{k_{\text{ман}} \cdot m \cdot g}{S_{\text{п}} - S_{\text{шт}}}, \quad (2.24)$$

В разработанной математической модели моделирование динамики подсистемы «двигатель внутреннего сгорания – гидравлический насос» не проводилось. Таким образом, для определения влияния внешних факторов на часовой расход топлива мусоровоза, модель необходимо дополнить соответствующим расчетом.

## 2.4. Математическое моделирование подсистемы «двигатель внутреннего сгорания – насос».

При разработке математической модели расхода топлива должны быть использованы основные теоретические зависимости из теории двигателей и экспериментальные нагрузочные характеристики по конкретному двигателю [55].

Для расчета часового расхода топлива необходимо удельный расход топлива  $g_e$  умножить на мощность  $N_e$  [12]:

$$G_T = \frac{N_e \cdot g_e}{\rho_{\text{топл}}} \cdot 10^{-3} \quad (2.25)$$

где  $G_T$  – часовой расход топлива при выполнении работ в технологическом режиме эксплуатации, л/ч;  $g_e$  – удельный расход топлива, кг/(кВт\*ч);  $N_e$  – эффективная мощность двигателя, кВт;  $\rho_{\text{топл}}$  – плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>.

При моделировании подсистемы «двигатель – гидравлический насос», мощность двигателя необходимая для перемещения рабочего гидроцилиндра и подъема груза массой  $m_0$ :

$$N_e = \frac{p_1 \cdot Q}{\eta_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{гс}}} \quad (2.26)$$

где  $\eta_{\text{пр}}$  – объемный КПД привода насоса от двигателя через коробку передач и коробку отбора мощности;  $\eta_{\text{гс}}$  – объемный КПД гидросистемы;  $\eta_{\text{н}}$  – объемный КПД насоса;  $Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/сек.

Подача насоса рассчитывается [6]:

$$Q = V_0 \cdot n_{\text{н}} = V_0 \cdot n_{\text{дв}} \cdot z_{\text{дв-н}}, \quad (2.27)$$

где  $V_0$  – рабочий объем насоса, м<sup>3</sup>,  $n_{\text{н}}$  – частота вращения вала насоса, сек<sup>-1</sup>;  $n_{\text{дв}}$  – частота вращения двигателя базового шасси, сек<sup>-1</sup>;  $z_{\text{дв-н}}$  – передаточное отношение от двигателя к насосу.

Таким образом, нагрузка на двигателе базового шасси будет определяться исходя из формул (2.24) и (2.26):

$$N_H = \frac{m \cdot \omega_{дв} \cdot g \cdot V_0 \cdot z_{дв-н} \cdot k_{ман}}{(S_{п} - S_{шт}) \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_{н} \cdot \eta_{гс}} \cdot 10^{-3} \quad (2.28)$$

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

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

$$Q^{заг} = \frac{g_e \cdot N_H}{\rho_{топл}} \cdot t_{заг} \cdot 10^{-3} \quad (2.29)$$

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

Время работы мусоровоза в технологическом режиме можно представить как суммарное время выполнения каждой технологической операции

$$t_{техн} = t_{заг} + t_{п.з.заг} + t_{раз} + t_{пресс} \quad (2.30)$$

где  $t_{заг}$  - среднее время операции по загрузке кузова, с;  $t_{п.з.заг}$  - время на подготовительно-заключительные операции по захвату контейнера, с;  $t_{раз}$  - среднее время операции по разгрузке кузова, с;  $t_{пресс}$  - среднее время операции прессования отходов, с.

Анализ продолжительности рабочего цикла позволяет выделить основную операцию рабочего цикла машины в технологическом режиме эксплуатации:  $t_{заг}$  - продолжительность загрузки контейнера в кузов мусоровоза. Остальные операции цикла являются вспомогательными, имеют вероятностный характер и могут быть учтены в виде коэффициента [29].

Продолжительность операций на подготовительно заключительные операции при загрузке контейнера и разгрузки кузова и на разгрузку кузова может быть учтена коэффициентом вспомогательных операций  $K_{всп.заг}$ . Этот коэффициент следует отнести к операции загрузки кузова мусоровозом  $t_{заг}$ . Величина коэффициента  $K_{всп.заг}$  устанавливается на основании анализа суммарного времени рабочего цикла машины [29].

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

$$Q_{\text{техн}} = \sum_{i=1}^k \frac{m_i \cdot \omega_{\text{дв}}^i \cdot g \cdot V_0 \cdot z_{\text{дв-н}} \cdot g_e \cdot k_{\text{ман}} \cdot t_{\text{заг}}^i}{(S_{\text{п}} - S_{\text{шт}}) \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{гс}} \cdot \rho_{\text{топл}} \cdot 10^6} \cdot K_{\text{всп.оп}} \quad (2.31)$$

Полученную модель предлагается использовать в качестве расчетной при определении нормы расхода топлива за смену на автотранспортном предприятии.

### 2.5. Разработка компьютерной программы.

На основе полученных математических зависимостей создано программное обеспечение на языке программирования TurboPascal 7.0.

Программа расчета системы привода специального оборудования имеет модульную структуру и состоит из 6 модулей, которые содержат исходные данные для расчета, описание процедур и функций, уравнения, описывающие работу подсистем «двигатель-насос» и «насос-гидроцилиндр», алгоритмы расчета вспомогательных величин. Дифференциальные уравнения гидравлики решаются методом Рунге-Кутты.

После запуска программы на экран выводятся следующие параметры:  $p_1$ ,  $n$ ,  $T$  отдельно для каждого замкнутого объема (рабочие полости насоса, гидрораспределитель, рабочие полости гидроцилиндров) и значения оборотов насоса и двигателя базового шасси, а также фактический расход топлива.

Открытие и закрытие золотников, соединяющих гидрораспределитель и гидроцилиндры, производится с помощью специальных алгоритмов, имитирующих различные режимы работы. Также в программе задан закон нагружения гидроцилиндров.

Шаг расчета задается вручную, чем меньше шаг, тем, соответственно дольше продолжительность расчетов. Был выбран шаг  $1 \cdot 10^{-5}$  с, при этом

длительность расчета полного выдвижения штока одного гидроцилиндра занимала около 30 минут на компьютере с процессором частотой 2 ГГц. Результаты расчетов сохранялись в текстовом файле REZ.dat, который удобно анализировать с помощью программы MathCAD.

### **Выводы по главе 2**

1. Выбраны параметры и математические зависимости, характеризующие изменение расхода топлива мусоровоза при работе специального оборудования.

2. Разработана математическая модель формирования расхода топлива мусоровоза в технологическом режиме эксплуатации, в которой впервые учтены факторы: масса груза и обороты двигателя базового шасси. Модель позволяет прогнозировать часовой расход топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровозов с дизельным двигателем.

3. На основе математической модели создана компьютерная программа.

## ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

### 3.1. Общая методика экспериментальных исследований.

#### 3.1.1. Цели и задачи экспериментальных исследований.

Цель экспериментальных исследований – это проверка адекватности математической модели реальному объекту, а также определение численных значений параметров математической модели.

Задачами экспериментальных исследований являются:

1. Оценка влияния факторов на расход топлива в технологическом режиме эксплуатации;
2. Проверка закономерностей влияния работы исполнительных механизмов на расход топлива мусоровоза в технологическом режиме эксплуатации;
3. Оценка численных значений параметров математической модели.

#### 3.1.2. Методы экспериментальных исследований.

Для получения опытных данных проводился активный натурный эксперимент. При нем, исследователь управляет уровнем независимых переменных (факторов) и изучают непосредственно объект исследований [24].

Таким образом, при подготовке эксперимента необходимо:

1. Разработать план эксперимента;
2. Определить число уровней каждого фактора, при которых изменяется параметр оптимизации;
3. Составить матрицу плана эксперимента и определить количество измерений в каждой точке матрицы;
4. Определить перечень необходимого оборудования и оценить погрешность измерений;
5. Выбрать методики обработки результатов натуральных испытаний.

На основе активного натурального эксперимента решались задачи 1-3.

### **3.2. Анализ факторов, влияющих на расход топлива мусоровоза при работе в технологическом режиме эксплуатации.**

Анализ литературных источников и ранее выполненных исследований позволил сформировать перечень факторов, оказывающих влияние на расход топлива мусоровоза: масса загружаемых отходов –  $X_1$  [17, 23]; частота вращения двигателя базового шасси –  $X_2$  [68]; температура рабочей жидкости –  $X_3$  [37]; техническое состояние систем и оборудования автомобиля –  $X_4$  [7]; природно-климатические условия –  $X_5$  [25, 26].

Факторы  $X_1$  и  $X_2$  – управляемые, таким образом, воздействуя на них можно добиться изменения фактического расхода топлива при работе мусоровоза в технологическом режиме эксплуатации. На сегодняшний день на большинстве автотранспортных предприятий действует система планово-предупредительного ремонта, это подразумевает, что автомобиль, выезжая на линию, полностью исправен. Следовательно, фактор  $X_4$  – не будет оказывать влияния на расход топлива мусоровоза при эксплуатации. Даже при эксплуатации в зимний период, гидравлическая система мусоровоза прогревается до рабочей температуры уже при загрузке первых двух контейнеров с ТКО, соответственно, существенного влияния на расход топлива при работе мусоровоза в технологическом режиме фактор  $X_3$  оказывать не будет. Таким образом, эксперимент целесообразно проводить при прогретой гидравлической системе до рабочей температуры. Природно-климатические условия ( $X_5$ ) – неуправляемый фактор, но он оказывает значительное влияние на процесс смесеобразования в двигателе базового шасси. Поэтому данный фактор необходимо учитывать при расчете норм расхода топлива на предприятии.

До начала планирования эксперимента необходимо выбрать область определения факторов, т.е. верхний и нижний предел изменения каждого фактора при работе мусоровоза в технологическом режиме эксплуатации. Далее в области определения выделить локальную подобласть для

планирования эксперимента на реальном объекте. Выбор этой подобласти состоит из выбора основного уровня и выбора интервалов варьирования [1].

Частота вращения двигателя ( $X_2$ ) имеет область определения от 600 до 2200 об/мин. Нижняя граница обусловлена оборотами холостого хода двигателя, а верхняя – режимом номинальной мощности. Для проведения экспериментальных исследований границы локальной подобласти определялась из условия возможности функционирования гидравлической системы мусоровоза в нормальном режиме. Данному условию соответствует частота вращения двигателя от 1200 до 1600 об/мин. Нулевое значение было принято – 1400 об/мин.

Область определения массы поднимаемого груза ( $X_1$ ) лежит в диапазоне от 500 кг до 3000 кг. Верхняя граница обусловлена грузоподъемностью погрузочного оборудования мусоровоза и является предельно допустимой массой поднимаемого груза [61]. Нижняя граница обусловлена массой пустого контейнера. При выборе локальной подобласти для натурных исследований верхний предел выбирался с учетом объема поднимаемого контейнера и максимальной плотности ТКО [48] и составил 2000 кг. В качестве нулевого уровня был выбран центр подобласти – 1250 кг.

Информация по управляемым факторам  $X_1$  и  $X_2$  для реальных условий эксплуатации (область определения) и для экспериментальных исследований (подобласть определения) представлена в Таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Области и подобласти определения факторов.

Фактор	Область определения		Подобласть определения	
	Нижний предел	Верхний предел	Нулевой уровень	Интервал варьирования
Частота вращения двигателя базового шасси ( $X_1$ )	600 об/мин	2200 об/мин	1400 об/мин	$\pm 200$ об/мин
Масса груза ( $X_2$ )	500 кг	3000 кг	1250 кг	$\pm 750$ кг

Оба фактора независимы, т.к. существует возможность установки каждого фактора на любой уровень вне зависимости от уровней других факторов и совместимы, т.е. их комбинации осуществимы и безопасны. Таким

образом, выполняются основные требования к совокупности факторов при планировании эксперимента.

### 3.3. Методика планирования эксперимента.

Была принята гипотеза о том, что выходная величина имеет линейную зависимость от факторов, т.е. уравнение регрессии двухфакторной модели будет иметь вид:

$$Y = f(X_1, X_2) = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 \quad (3.1)$$

где  $a_0, a_1, a_2$  – параметры линейного уравнения;  $X_1, X_2$  – факторы, влияющие на значение величины  $Y$

Для оценки параметров линейного уравнения множественной регрессии оценивались необходимо перейти к уравнению в стандартизованном масштабе.

Представляем переменные  $Y, X_1$  и  $X_2$  как центрированные и нормированные, т.е. выраженные как отклонения от средних величин, деленные на стандартное отклонение [18, 19]:

$$x_1 = \frac{X_{1i} - \bar{X}_1}{\sigma_{X_1}}; \quad x_2 = \frac{X_{2i} - \bar{X}_2}{\sigma_{X_2}}; \quad y = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma_Y} \quad (3.2)$$

Тогда уравнение множественной регрессии примет вид [18, 19]:

$$y = \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 \quad (3.3)$$

где  $\beta_1$  и  $\beta_2$  – стандартизованные коэффициенты регрессии (бета коэффициенты)

Оно не имеет свободного члена, поскольку все переменные выражены через отклонения от средних величин, а, как известно:

$$a_0 = \bar{Y} - a_1 \cdot \bar{X}_1 - a_2 \cdot \bar{X}_2 \quad (3.4)$$

Стандартизованные коэффициенты находятся методом наименьших квадратов [18]:

$$\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2 \rightarrow \min \quad (3.5)$$

Или

$$\sum_{i=1}^m [(y_i - (\beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2))]^2 \rightarrow \min,$$

(3.6)

где  $m$  – количество опытных точек.

Точка минимума находится из системы уравнений [34]:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial \beta_1} = 0; \\ \frac{\partial f}{\partial \beta_2} = 0 \end{cases}$$

(3.7)

Получаем систему нормальных уравнений, решение которых дает значения параметров уравнения множественной регрессии [34]:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m y_i x_1 - \beta_1 \sum_{i=1}^m x_1 x_1 - \beta_2 \sum_{i=1}^m x_1 x_2 = 0 \\ \sum_{i=1}^m y_i x_2 - \beta_1 \sum_{i=1}^m x_1 x_2 - \beta_2 \sum_{i=1}^m x_2 x_2 = 0 \end{cases}$$

(3.8)

Тогда параметры  $\beta_1$  и  $\beta_2$  уравнения множественной регрессии определяются по формулам Крамера [44]:

$$\beta_1 = \frac{\Delta_{\beta_1}}{\Delta}; \beta_2 = \frac{\Delta_{\beta_2}}{\Delta}$$

(3.9)

Далее необходимо проверить значимость каждого и найденных параметров  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . С этой целью может использоваться  $t$ -статистика Стьюдента, опытное значение которой вычисляется по формуле[34]:

$$t_{\beta_i}^{\text{оп}} = \frac{\beta_i}{m_{\beta_i}}, (i = 0, 1 \dots n)$$

(3.10)

где  $m_{\beta_i}$  - среднеквадратическая ошибка коэффициента  $\beta_i$  [34].

$$m_{\beta_i} = \frac{\sigma_y \sqrt{1 - R_{y x_1 x_2}^2}}{\sigma_{x_i} \sqrt{1 - R_{x_i x_1 x_2}^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{m - n - 1}} \quad (3.11)$$

где  $\sigma_y$  - среднее квадратичное отклонение для значений переменной  $y$ ;  $\sigma_{x_i}$  - среднее квадратичное отклонение для значений  $x_i$ ;  $R_{y x_1 x_2}^2$  - коэффициент множественной детерминации для уравнения регрессии в целом;  $R_{x_i x_1 x_2}^2$  - коэффициент множественной детерминации, характеризующий зависимость между фактором  $x_i$  и остальными факторами уравнения регрессии.

Опытное значение критерия  $t_{\beta_i}^{\text{оп}}$  необходимо сравнить с его критическим значением точкой распределения Стьюдента  $t_{кр}(\alpha, k)$ , при заданном уровне значимости  $\alpha$ , и числе степеней свободы  $k = m - n - 1$ . Значение уровня значимости было принято  $\alpha = 0,05$  [11].

Гипотеза о значимости коэффициента  $\beta_i$  не отвергается если  $t_{\beta_i}^{\text{оп}} > t_{кр}$ , а соответствующий фактор  $x_i$  остается в уравнении.

От стандартизованной регрессии можно перейти к уравнению регрессии в натуральном масштабе, то есть получить уравнение регрессии:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 \quad (3.12)$$

Коэффициенты регрессии в натуральном масштабе находятся на основе  $\beta$ -коэффициентов [18, 19]:

$$a_1 = \beta_1 \frac{\sigma_0}{\sigma_1}; \quad a_2 = \beta_2 \frac{\sigma_0}{\sigma_2}, \quad (3.13)$$

где  $\sigma_0 = \sigma_y$ ,  $\sigma_1 = \sigma_{x_1}$ ,  $\sigma_2 = \sigma_{x_2}$

Далее необходимо проверить адекватность найденного уравнения регрессии опытными данными. Для проверки значимости уравнения регрессии в целом можно использовать  $F$ -статистику Фишера. Опытное значение  $F_{\text{оп}}$  вычисляется по формуле [19]:

$$F_{\text{оп}} = \left( \sum_{i=1}^m [f(X_{i1}, X_{i2}) - \bar{Y}]^2 / \sum_{i=1}^m [Y_i - f(X_{i1}, X_{i2})]^2 \right) \frac{(m - n - 1)}{n} \quad (3.14)$$

где  $\bar{y}$  - среднее опытных значений случайной величины  $Y$ .

Полученное значение сравнивается с критическим значением  $F_{\text{кр}}(\alpha; (m-n-1); n)$  критерия Фишера. Уравнение регрессии в целом считается значимым в случае выполнения неравенства  $F_{\text{оп}} > F_{\text{кр}}$ . В противном случае считают, что уравнением нельзя пользоваться как основанием для принятия решений.

Проверка уравнения регрессии на адекватность производится по средней ошибке аппроксимации  $\bar{\varepsilon}$ .

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{|Y_i - f(X_{i1}, X_{i2})|}{Y_i} 100\% \quad (3.15)$$

Уравнение регрессии считается адекватным, если средняя ошибка аппроксимации не превышает 12...15% [24].

Экспериментальные исследования состояли из определения часового расхода топлива при работе в технологическом режиме эксплуатации. Эксперимент проводился на базе предприятия ООО «ВМ-Сервис» г. Перми.

Двигатель работал на топливе напрямую из измерительной емкости, которая устанавливалась на весы. Эксперимент проводился для наиболее значимой операции в технологическом режиме работы мусоровоза: подъем/опускание бака с ТКО.

В ходе эксперимента изменялись обороты двигателя и масса груза. Для нагружения контейнера использовались эталонные грузы.

В журнале наблюдений фиксировались: масса груза, масса израсходованного топлива отдельно при каждой операции, частота вращения двигателя, время операции и температура рабочей жидкости.

### 3.4. Оборудование для проведения экспериментальных исследований

Оборудование, необходимое для проведения эксперимента можно разделить на три основные группы:

- Оборудование для определения массы груза;
- Оборудование для определения расхода топлива;
- Оборудование для определения частоты вращения двигателя.

Для определения массы загружаемых отходов ранее была разработана автоматическая бортовая система взвешивания, основанная на методе измерения массы отходов по величине давления рабочей жидкости в гидросистеме [37].

Устройство состоит из компактного персонального компьютера (ПК), терминала, датчика давления, датчика температуры и провода.

Терминал разработан на основе аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и дополнительно включает GSM модуль, GPRS модуль, GPS модуль для определения маршрута движения мусоровоза, скорости движения на маршруте, пробег, количество рейсов (Рис.3.1).



Рис.3.1. Терминал.

Основные технические характеристики терминала представлены в Приложении В. Суммарная погрешность терминала не превышает 0,3% [37].

Для измерения давления рабочей жидкости (РЖ) в гидросистеме мусоровоза с задней загрузкой использовался датчик давления DMP 330L (рис. 3.2). Датчик предназначен для использования в системах автоматического

контроля, регулирования и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности [14]. Погрешность датчика давления составила не более 0,9% [37]. Основные технические характеристики датчика представлены в Приложении В.

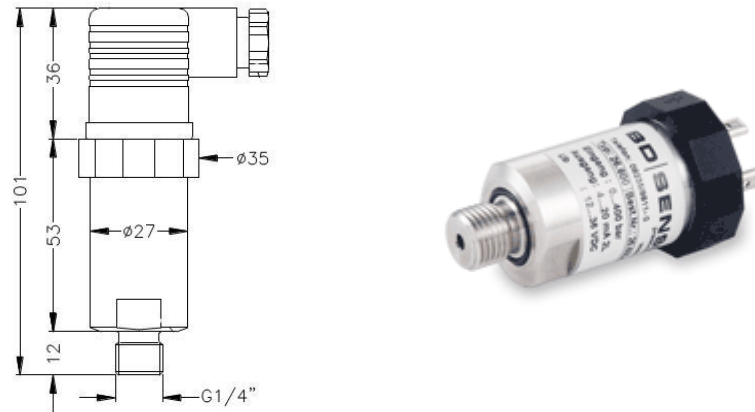


Рис. 3.2. Датчик давления DMP 330L.

Датчик давления устанавливался в напорную магистраль гидроцилиндра подъема портала мусоровоза. Место установки датчика давления указано на рис.3.3.



Рис. 3.3. Место установки датчика давления.

Для измерения температуры РЖ в масляный бак устанавливается датчик DS18B20 – цифровой термометр с программируемым разрешением, от 9 до 12-bit, которое может сохраняться в памяти прибора. Диапазон измерений от – 55°C до +125°C и точностью 0.5°C. DS18B20 может питаться напряжением линии данных (“parasite power”), при отсутствии внешнего источника

напряжения, при этом максимальная измеряемая температура составит  $+100^{\circ}\text{C}$ , что вполне достаточно. Прибор представляет собой температурный датчик, с цифровым преобразователем температуры и оперативной памятью [66]. Погрешность датчика температуры DS18B20 составила 0,4% [37].

При подъеме контейнера с отходами в памяти КПК создается файл, в который сохраняются дата и время подъема, координаты места подъема (GPS-модуль), показания датчиков зафиксированные при помощи АЦП. Собранная в файл информация о массе ТКО сохраняется в память КПК и отправляется через интернет (GSM/GPRS-модуль) на удаленный сервер. Для каждого нового места сбора создается новый файл для записи данных. Одновременно, возможно графическое отображение изменения давления в гидроцилиндре на экране КПК. После окончания загрузки ТКО на борт мусоровоза запись в файл прекращается, и он сохраняется в памяти терминала и, при необходимости, передается через интернет на удаленный сервер.

Частота вращения двигателя базового шасси фиксировалась по данным штатного электронного тахометра 251.3813 с диапазоном показаний 0-4000 об/мин. Погрешность тахометра в среднем укладывается в ограничения по точности измерений частоты вращения коленчатого вала двигателей автомобилей в технических целях согласно ГОСТ 20306-90 «Автомобильные средства. Топливная экономичность». Основные технические характеристики тахометра приведены в Приложении В.

Для определения расхода топлива применялся весовой метод, рассмотренный в разделе 1.4. Для проведения экспериментальных исследований были разработаны схемы подключения измерительного оборудования для дизельного двигателя (рис. 3.4).

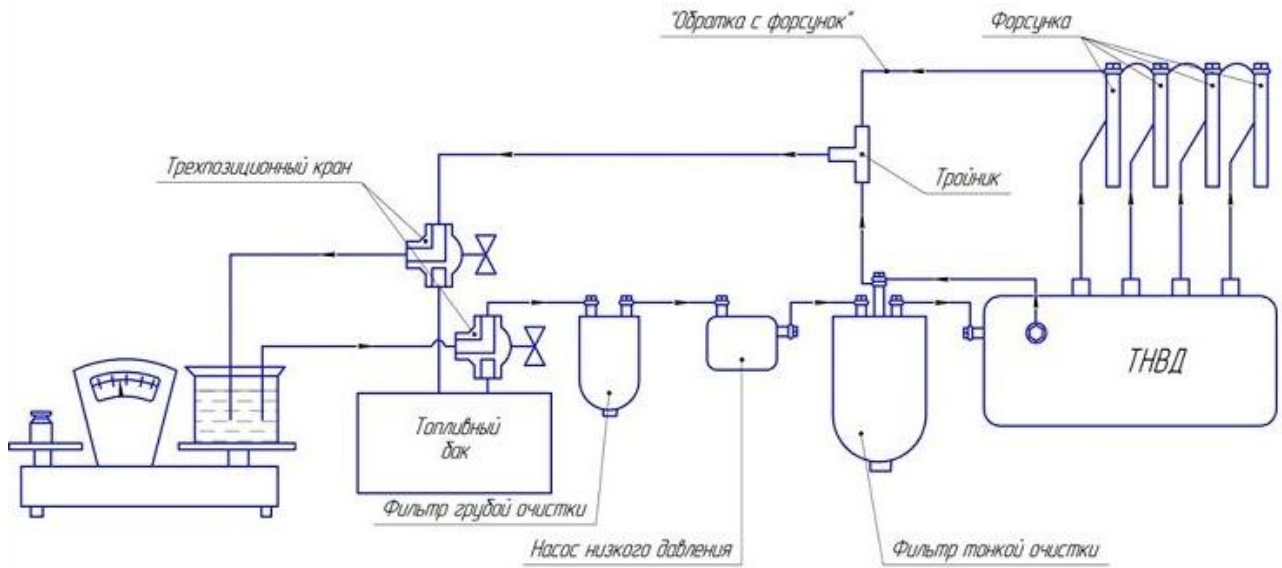


Рис. 3.4. Схема подключения измерительного оборудования.

Для переключения направления подачи и слива топлива напорную и сливную магистрали топливной системы были установлены трехпозиционные краны, которые позволяют осуществить работу двигателя из измерительной емкости.

Масса израсходованного топлива фиксировалась на весах фирмы «МИДЛ», наибольшим пределом взвешивания 60 кг и погрешностью 0,2%. При проведении измерений весы работали от встроенного аккумулятора. Регулировка весов по уровню осуществлялась при помощи специальных ножек, регулируемых по высоте. Основные технические характеристики весов представлены в Приложении В.

Время совершения отдельных операций определялось по цифровому секундомеру с ценой деления 0,01 с.

Таким образом, суммарная погрешность системы измерения не превышает 3,15%.

### 3.5. Методика оценки адекватности математической модели.

Проверка адекватности математической модели реальному объекту состоит в сравнении данных полученных расчетным и экспериментальным

путем. Созданная математическая модель должна как можно более точно описывать процессы, для того, чтобы её можно было использовать для аналитических исследований.

Для каждого фактора ( $X_1, X_2$ ) необходимо оценить средний разброс расчетных и экспериментальных значений выходной величины  $Y$  относительно линии регрессии. Проще всего решить данную задачу можно по остаточным суммам квадратов, т.е. путем сравнения дисперсий. Проверка однородности дисперсий осуществлялась с помощью критерия Фишера (F-критерий). Критерий Фишера представляет собой сравнение отношения большей дисперсии к меньшей с табличной величиной F-критерия, при заданном уровне значимости  $\alpha$ .

Пусть генеральные совокупности, полученные расчетным и экспериментальным путем, распределены нормально. Тогда по независимым выборкам для каждой точки экспериментальных данных были рассчитаны дисперсия воспроизводимости  $S_{\{y\}}^2$  и дисперсия адекватности  $S_{ад}^2$ .

Дисперсия в каждом опыте, состоящем из  $n$  повторных наблюдений, определяется по формуле [1]:

$$S^2 = \frac{\sum_{q=1}^n (y_q - \hat{y})^2}{n-1}, \quad (3.16)$$

где  $\hat{y}$  - среднее значение выходной величины;

$y_q$  – значение выходной величины при  $q$ -том наблюдении в опыте;

$n$  – количество повторных наблюдений.

Дисперсия воспроизводимости  $S_{\{y\}}^2$  была получена по формуле [1]:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{q=1}^n (y_{iq} - \hat{y}_i)^2}{N(n-1)}, \quad (3.17)$$

где  $N$  - количество исследуемых точек опыта.

Дисперсия адекватности, характеризующая разброс расчетных и экспериментальных данных, определялась по формуле [1]:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_i^p)^2}{N - K} \quad (3.18)$$

где  $K$  – количество определяемых коэффициентов;

$y_i$  –  $i$ -ое значение выходной величины в эксперименте;

$y_i^p$  –  $i$ -ое расчетное значение выходной величины.

По полученным дисперсиям при заданном уровне значимости  $\alpha=0,05$  требуется проверить нулевую гипотезу  $H_0$ , состоящую в том, что дисперсии равны между собой. Разумеется, дисперсии отличаются, но задача формулируется именно таким образом, т.к. требуется определить значимо или незначимо различаются дисперсии. Если нулевая гипотеза подтвердится, т.е. дисперсии отличаются незначимо, то математическая модель формирования расхода топлива в технологическом режиме работы мусоровоза адекватна реальным процессам. Если нулевая гипотеза будет отвергнута, т.е. дисперсии неодинаковы, то различие дисперсий значимо, следовательно, математическая модель нуждается в доработке [68].

В качестве критерия проверки нулевой гипотезы о равенстве дисперсий принималось отношение большей дисперсии к меньшей [68]:

$$F = \frac{S_{\{y\}}^2}{S_{ад}^2}, \text{ если } S_{\{y\}}^2 > S_{ад}^2 \quad (3.19)$$

или

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{\{y\}}^2}, \text{ если } S_{\{y\}}^2 < S_{ад}^2 \quad (3.20)$$

где  $F$  – расчетная величина  $F$ -распределения.

Величина  $F$  имеет распределение Фишера-Снедекора со степенями свободы  $n-1$  и  $N-K$ . Для проверки нулевой гипотезы о равенстве дисперсий необходимо расчетное значение  $F$  сравнить с табличным значением критической точки распределения Фишера-Снедекора при таких же степенях свободы  $n-1$  и  $N-K$  и заданном уровне значимости  $\alpha$ . Был выбран уровень значимости  $\alpha=0,05$ .

Нулевая гипотеза подтверждается при условии [68]:

$$F < F_{кр}(\alpha, n - 1, N - K) \quad (3.21)$$

При выполнении условия 3.15 математическая модель работы специального оборудования мусоровоза адекватна реальному объекту. При невыполнении условия (3.15) математическая модель нуждается в доработке.

### **Выводы по главе 3**

1. Проведен анализ факторов, влияющих на выходную величину. Определены значимые факторы и пределы их изменения.
2. Выбраны план проведения экспериментальных исследований и методика проверки надежности полученных данных, выбрана методика проверки адекватности математической модели расхода топлива мусоровоза при работе в технологическом режиме эксплуатации.
3. Разработано и создано оборудование, необходимое для проведения экспериментальных исследований, и схемы его подключения. Рассчитана погрешность систем измерения.

## ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

### 4.1. Результаты экспериментальных исследований влияния факторов на часовой расход топлива в технологическом режиме.

Экспериментальные исследования влияния факторов на расход топлива проводились на объекте исследования – мусоровозе БМ-53229-1. Была получена оценка влияния каждого из факторов (массы груза, оборотов двигателя базового шасси) на величину часового расхода топлива при подъеме контейнеров с ТКО разной массы. Эксперимент проводился по классическому плану, т.е. одна переменная полагалась постоянной, а другая – переменной. Переменная величина изменялась во всем интервале значений. Результатом исследования стала зависимость часового расхода топлива от массы поднимаемого груза при трех уровнях оборотов двигателя. В данном случае классический эксперимент был несбалансированным. Для зависимости часового расхода топлива от массы поднимаемого груза было получено четыре уровня, от оборотов двигателя базового шасси – три уровня.

В ходе планирования эксперимента, была принята гипотеза о том, что выходная величина  $Y$  – часовой расход топлива, имеет линейную зависимость от факторов, т.е. уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 \quad (4.1)$$

где  $a_0, a_1, a_2$  – параметры линейного уравнения;  $X_1$  - масса контейнера с грузом, кг;  $X_2$  – частота вращения двигателя базового шасси, мин<sup>-1</sup>.

На мусоровоз в напорную и обратные топливные магистрали были установлены трехпозиционные краны, для обеспечения работы двигателя из измерительной емкости (Рис. 4.1, а, поз.1). Для нагружения контейнера использовались эталонные грузы – мешки с сыпучим материалом (Рис. 4.1, б). Мешки до проведения эксперимента были взвешены и промаркированы. Масса мешков составляла от 20 до 25 кг.

В журнале наблюдений фиксировались: масса груза, масса израсходованного топлива отдельно при каждой операции, частота вращения двигателя, время операции и температура рабочей жидкости.



Рис. 4.1. Экспериментальные исследования на мусоровозе 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

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 контейнер, до 2000 кг – предельная паспортная нагрузка на портале. Обороты двигателя изменялись на трех уровнях от 1200 до 1600 об/мин.

Данные о массе груза, полученные с помощью ранее разработанной бортовой системы взвешивания, основывающейся на определении массы по давлению рабочей жидкости в гидросистеме, представлены на рисунке 4.2.

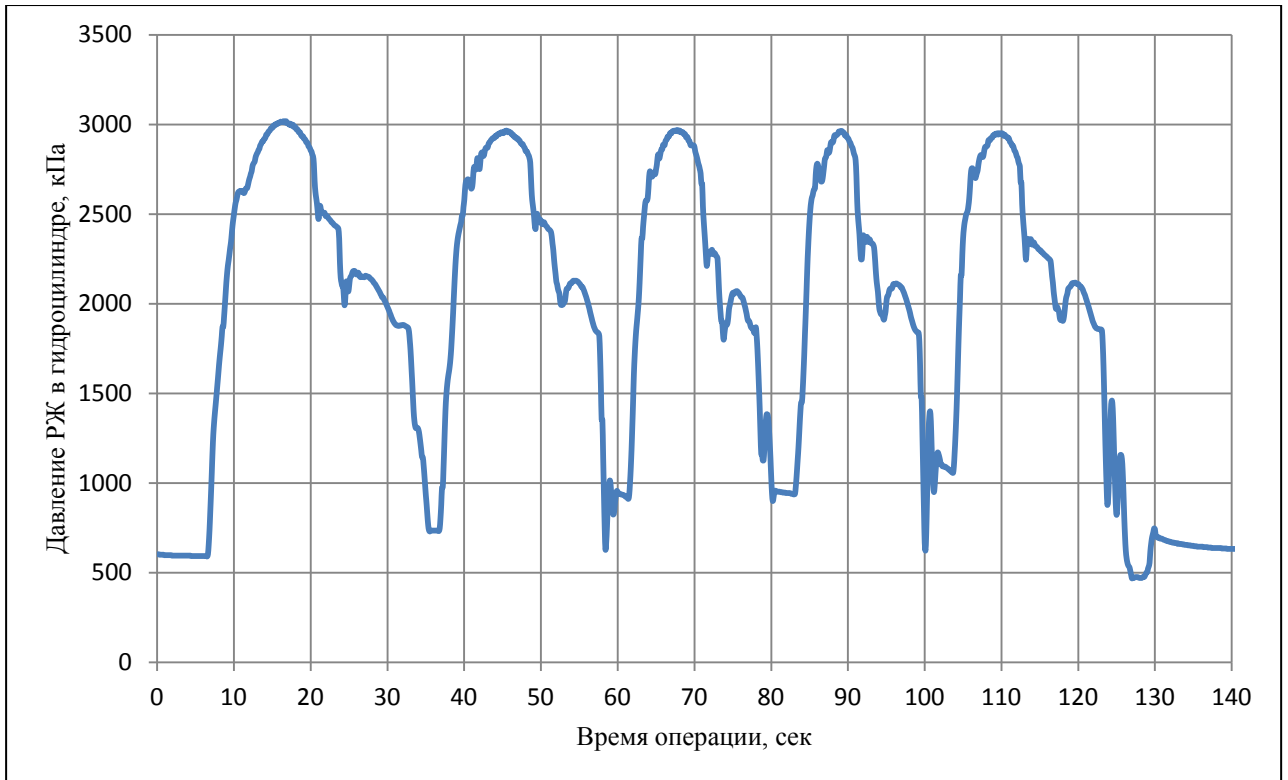


Рис. 4.2. Изменение давления в гидросистеме во время загрузки контейнера с ТКО.

Одновременно, была проведена тарировка бортовой системы взвешивания для объекта исследования – мусоровоза БМ-53229-1. Тарировочный график представлен на рисунке 4.3.

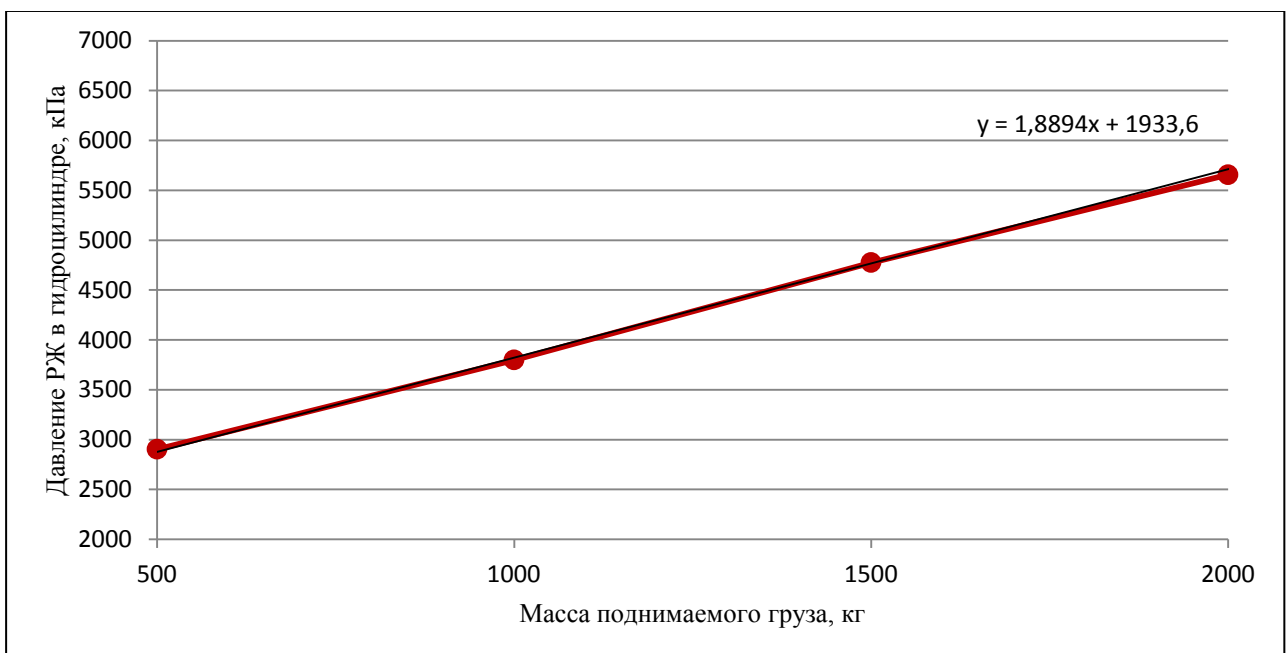


Рис. 4.3. Зависимость давления рабочей жидкости от массы поднимаемого груза.

Данные, полученные в ходе эксперимента, представлены на рис.4.4. На основе полученных данных была подтверждена первоначальная гипотеза о линейной зависимости выходной величины от каждого из параметров.

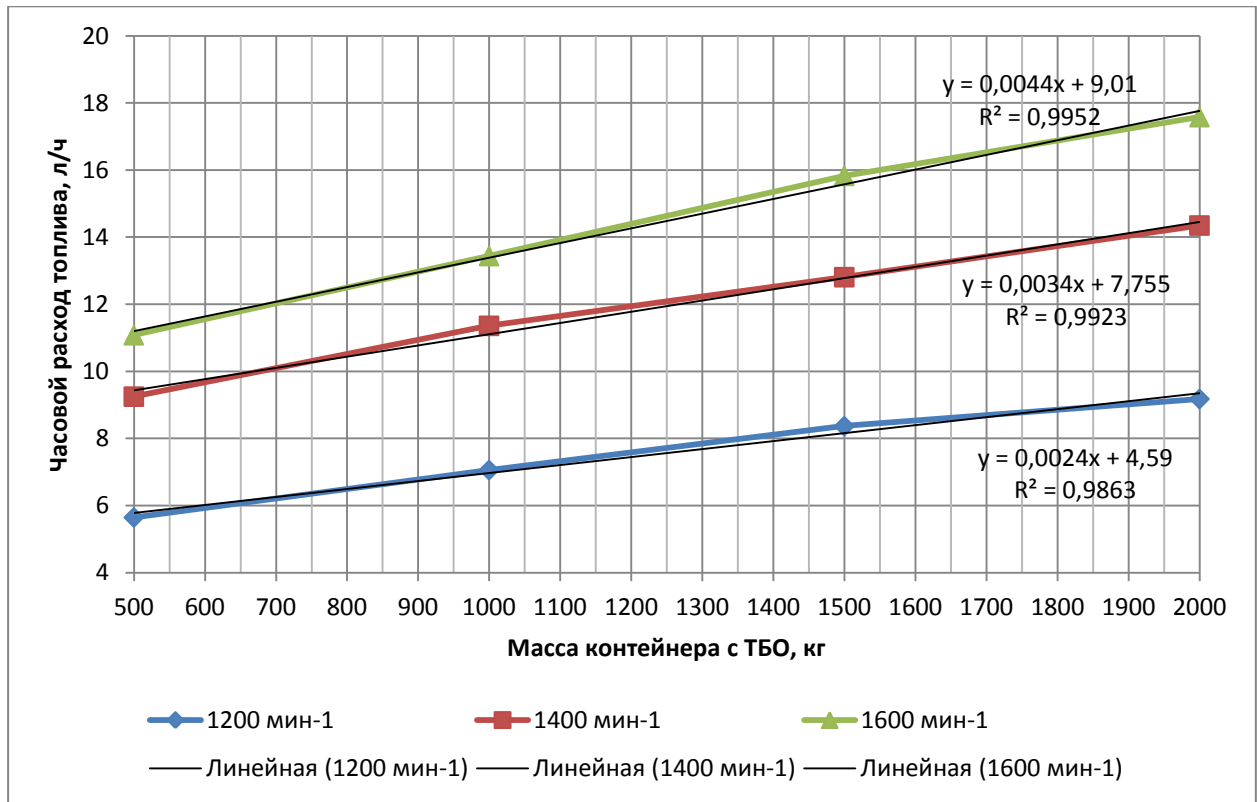


Рис. 4.2. Изменение часового расхода топлива на объекте исследования.

Для построения множественного уравнения регрессии, полученные значения обрабатывались по методике из раздела 3.3, при этом определялась значимость каждого из двух факторов, значимость уравнения регрессии в целом и адекватность полученного уравнения экспериментальным данным.

Для оценки параметров линейного уравнения множественной регрессии необходимо перейти к значениям в стандартизованном масштабе (Таблица 4.1).

Таблица 4.1. Матрица эксперимента в стандартизованном масштабе.

Часовой расход топлива, $y$	Масса, $x_1$	Обороты двигателя, $x_2$
-1,00	-1	-1
-0,40	-1	0
-0,09	-1	1
-0,76	-0,33	-1
-0,04	-0,33	0
0,31	-0,33	1

-0,54	0,33	-1
0,20	0,33	0
0,71	0,33	1
-0,41	1	-1
0,46	1	0
1,00	1	1

Таким образом, стандартизованное уравнение регрессии примет вид:

$$y = 0,424x_1 + 0,580x_2 \quad (4.2)$$

Для определения значимости каждого фактора уравнения, были рассчитаны коэффициенты корреляции переменных и построена матрица коэффициентов парной корреляции. Основные показатели корреляционного анализа приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2. Основные показатели корреляционного анализа.

Факторы	Опытный критерий Стьюдента $t^{оп}$	$t_{кр} (0,05;9)$
Масса груза	8,69	2,26
Обороты двигателя	13,03	2,26

Рассчитанные значения критерия Стьюдента  $t^{оп}$  (столбец 2) по модулю оказались больше критических точек распределения Стьюдента при заданном уровне значимости  $\alpha=0,05$  (столбец 3). Это означает, что оба фактора значимы. Наиболее значимым фактором, влияющим на часовой расход топлива мусоровоза, являются обороты двигателя базового шасси. Масса поднимаемого груза оказывает меньшее влияние на выходную величину.

Для прогнозирования часового расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровоза в зависимости от массы поднимаемого груза и оборотов коленчатого двигателя базового шасси было получено уравнение регрессии в натуральном масштабе:

$$G_{теор} = -17,09 + 0,0033m_o + 0,017n \quad (4.3)$$

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

При проверке адекватности полученного уравнения регрессии был произведен сравнительный расчет экспериментального и теоретического часового расходов топлива, определена ошибка аппроксимации на каждом уровне факторов (Таблица 4.3.).

Таблица 4.3.

Сравнение экспериментального и теоретического часового расходов топлива

Масса $m_o$ , кг	Обороты двигателя $n$ , мин <sup>-1</sup>	Средний экспериментальный часовой расход топлива $G_{эксп}$ , л/ч	Теоретический часовой расход топлива $G_{теор}$ , л/ч	Ошибка аппроксимации $\frac{ G_{эксп} - G_{теор} }{G_{эксп}} \cdot 100, \%$
500	1200	5,65	5,37	5,01
500	1400	9,25	8,83	4,57
500	1600	11,08	12,29	10,92
1000	1200	7,06	7,07	0,14
1000	1400	11,36	10,53	7,33
1000	1600	13,44	13,99	4,09
1500	1200	8,37	8,77	4,78
1500	1400	12,81	12,23	4,55
1500	1600	15,83	15,69	0,90
2000	1200	9,18	10,47	14,05
2000	1400	14,35	13,93	2,95
2000	1600	17,58	17,39	1,10
				<b>Средняя ошибка аппроксимации 5,03</b>

Основные критерии оценки значимости уравнения приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Критерии оценки значимости уравнения регрессии.

Коэффициент детерминации $R^2$	Критерий Фишера $F_{оп}$	$F_{кр} (0,05;9;2)$
0,945	122,6	19,38

Поскольку опытное значение  $F_{оп}$  превышает критическое  $F_{кр}$ , то уравнение регрессии статистически значимо. Таким образом, проверка значимости модели по  $F$ -критерию Фишера показала, что уравнение статистически значимо с вероятностью более 0,95. Средняя ошибка аппроксимации составила 5,03%, следовательно, полученное уравнение адекватно описывает существующий процесс.

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

Анализ экспериментальных данных о времени работы специального оборудования (Рис. 4.3.) показал, что снижение оборотов двигателя до минимальных, приводит к увеличению времени совершения операции в среднем на 13,5 %, что, в масштабах рейса мусоровоза, является несущественным, при этом часовой расход топлива снижается в среднем на 1,5 л за рейс.

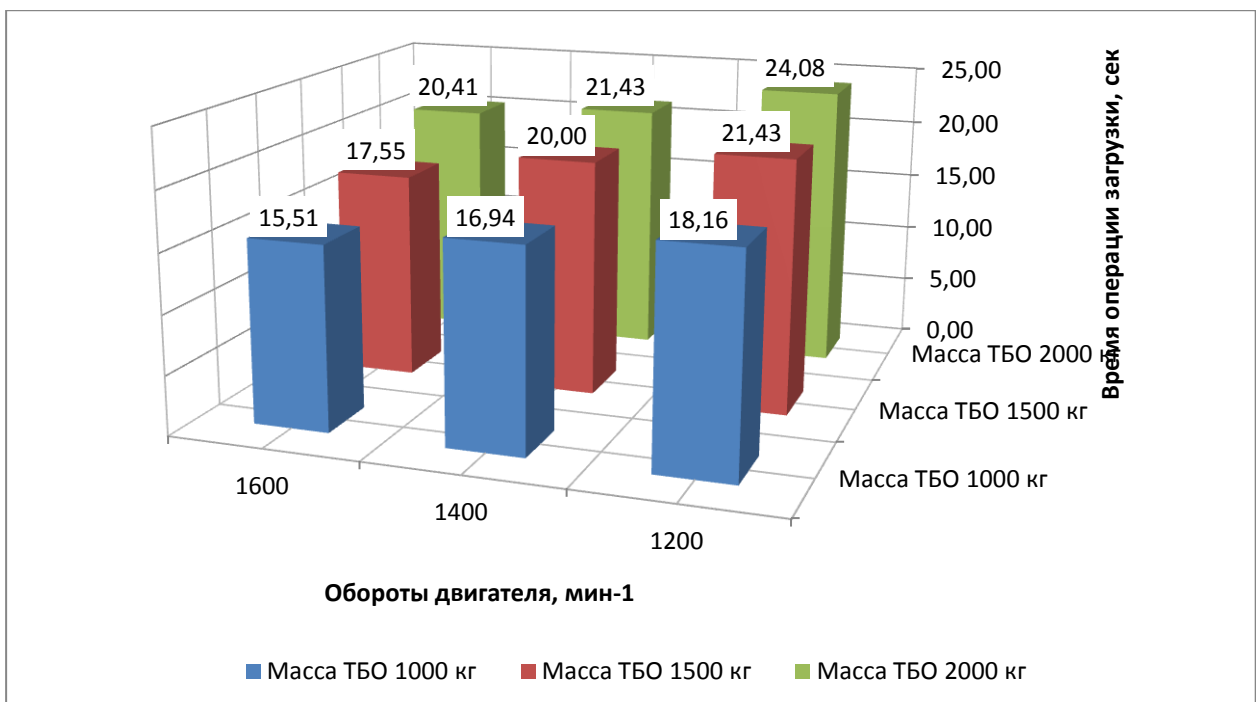


Рис. 4.3. Время совершения операции подъема/опускания контейнера с ТКО в технологическом режиме эксплуатации мусоровоза.

Таким образом, для повышения топливной экономичности целесообразно осуществлять работу на минимально возможных оборотах двигателя, обеспечивающих нормальное функционирование гидросистемы.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы: первоначальная гипотеза о линейной зависимости выходной величины от каждого из параметров подтвердилась; оба фактора являются значимыми, т.е. их необходимо учитывать при определении теоретического часового расхода топлива; для повышения топливной экономичности, работу в технологическом режиме целесообразно производить на минимально возможных оборотах двигателя.

#### **4.2. Результаты аналитического исследования расхода топлива на мусоровозе.**

Моделирование процессов, происходящих при работе погрузочного оборудования мусоровозов, проводилось с помощью компьютерной программы (раздел 2.5.), разработанной на основе математической модели, описанной в разделах 2.3-2.4. Исходные данные для расчетов представлены в Приложении Г.

Компьютерная программа во время расчета позволяет управлять процессом работы гидроцилиндра – открывать/закрывать золотники гидрораспределителя, а также нагрузкой и оборотами двигателя при работе гидроцилиндра груза.

Результатом аналитического исследования процессов, происходящих во время подъема груза, стала зависимость часового расхода топлива от массы груза и оборотов двигателя. На рис. 4.4 приведена аналитическая зависимость часового расхода топлива от массы загружаемых отходов при работе автомобиля на рекомендованных оборотах двигателя (1200 об/мин). На рис. 4.5 приведена аналитическая зависимость часового расхода топлива от оборотов

двигателя базового шасси автомобиля при максимальном заполнении контейнера с ТКО (2000 кг).

По полученным данным можно сделать вывод, что график зависимости часового расхода топлива от оборотов двигателя имеет больший угол наклона, и, следовательно, данный фактор более существенно влияет на расчетную величину.

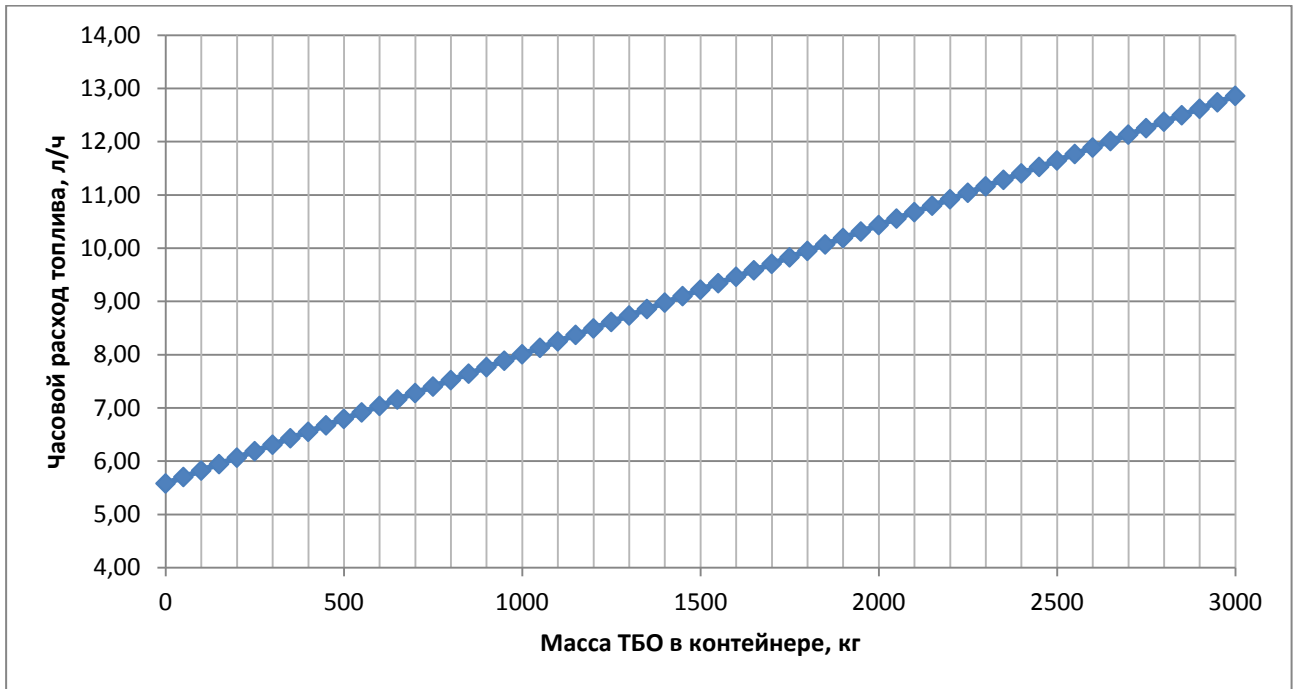


Рис. 4.4. Изменение часового расхода топлива от массы груза (обороты двигателя - 1200 об/мин).

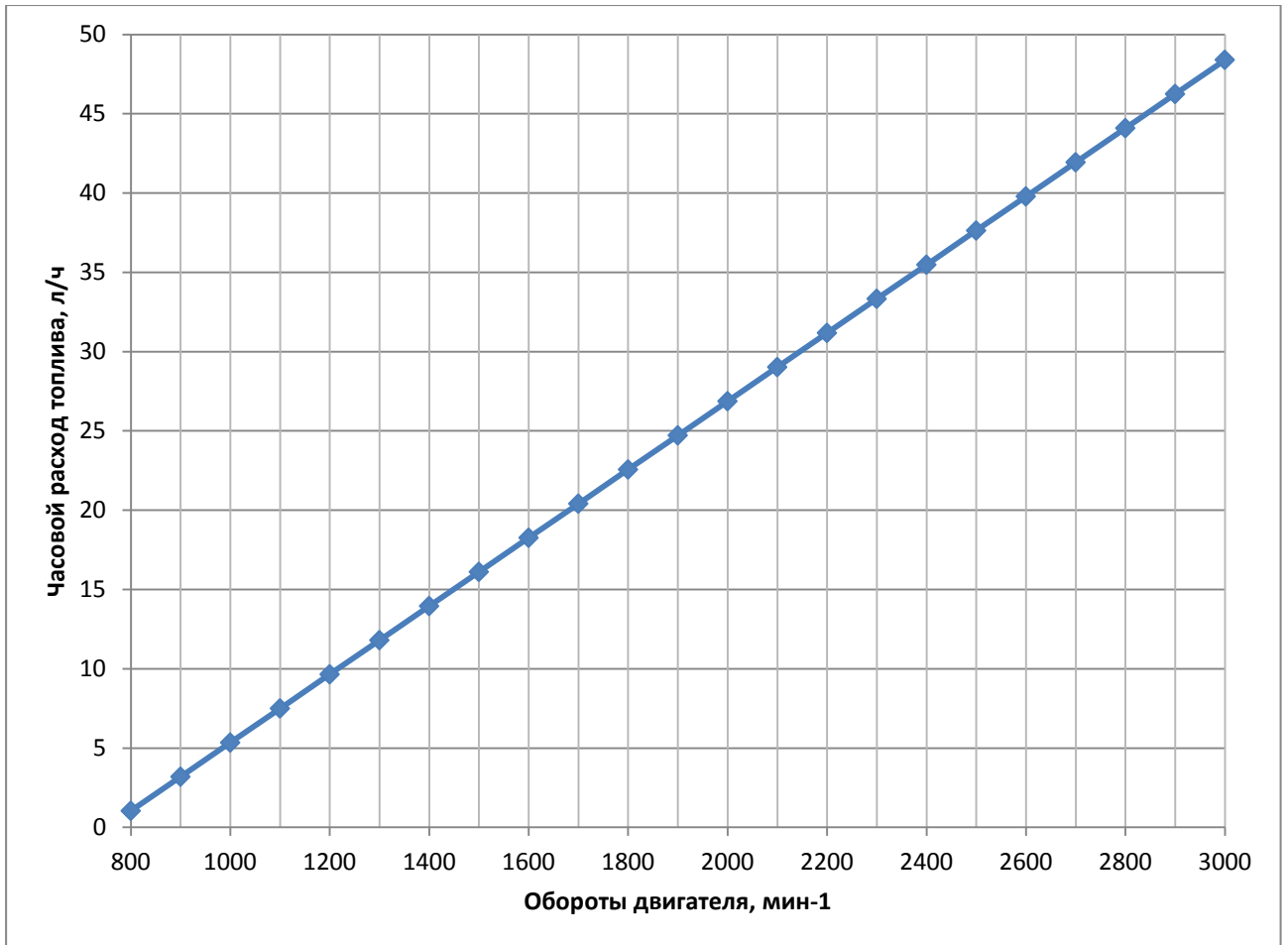


Рис. 4.5. Изменение часового расхода топлива от оборотов двигателя  
(масса контейнера с ТКО 2000 кг).

Следующим этапом в работе необходимо было проверить адекватность разработанной математической модели реальному объекту.

### 4.3. Оценка адекватности математической модели.

Адекватность математической модели изменения часового расхода топлива автомобиля реальному объекту проверялась путем сравнения данных полученных расчетным и экспериментальным путем.

На рисунке 4.6 представлено сравнение расчетных и экспериментальных данных.

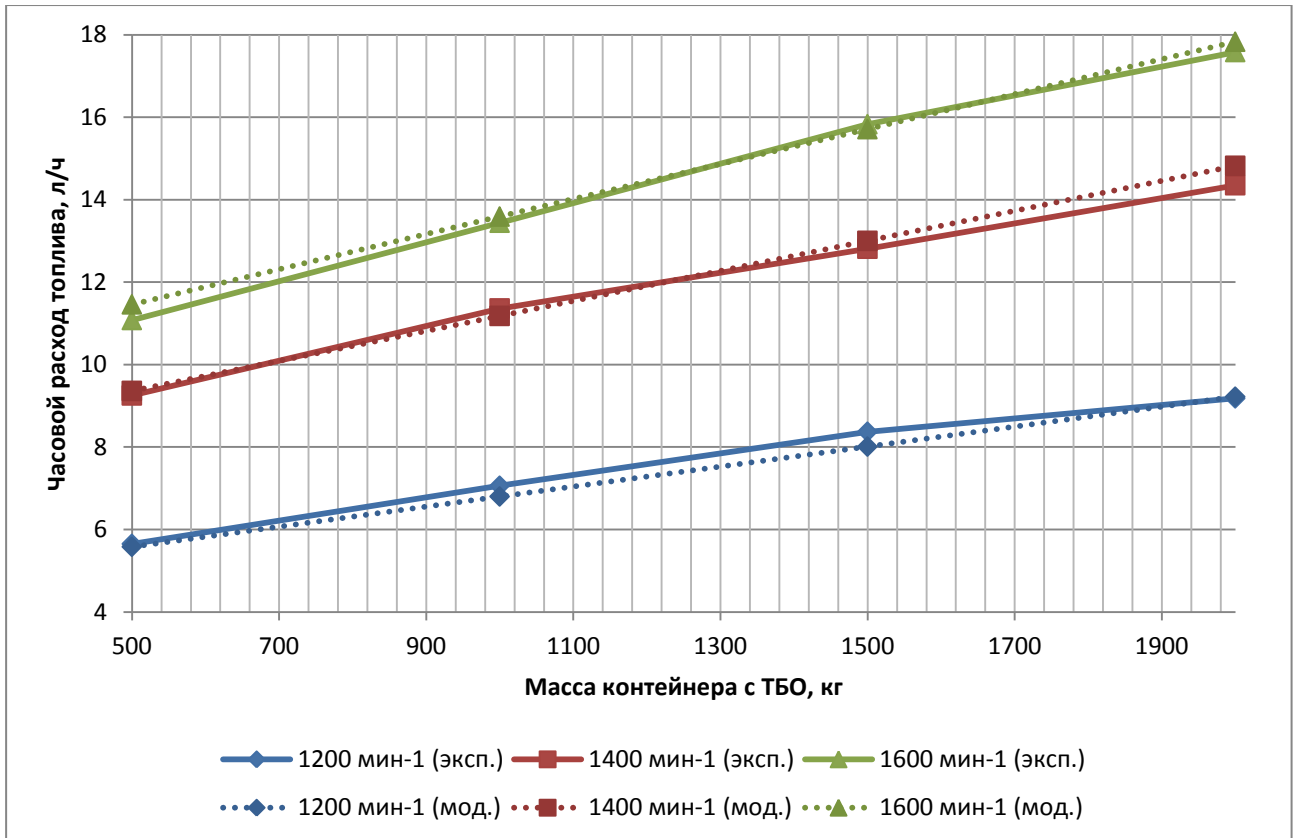


Рис. 4.6. Сравнение расчетных и экспериментальных данных.

Методика оценки адекватности модели реальному объекту описана в разделе 3.6. Сравнение расчетных и экспериментальных данных проводилось при помощи критерия Фишера (F-критерий), т.е. сравнивались отношения большей дисперсии к меньшей и табличное значение F-критерия, при заданном уровне значимости  $\alpha=0,05$ . Результаты расчетов представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Оценка адекватности математической модели

Дисперсия воспроизводимости	Дисперсия адекватности	Критерий Фишера (F)	Табличное значение критерия Фишера(Fкр)
0,0513	0,0825	1,60	4,30

Расчетное значение критерия Фишера оказалось меньше табличного значения, т.е. условие (3.21) выполняется, таким образом, модель изменения часового расхода топлива мусоровоза 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 мусоровозов 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 4.7.

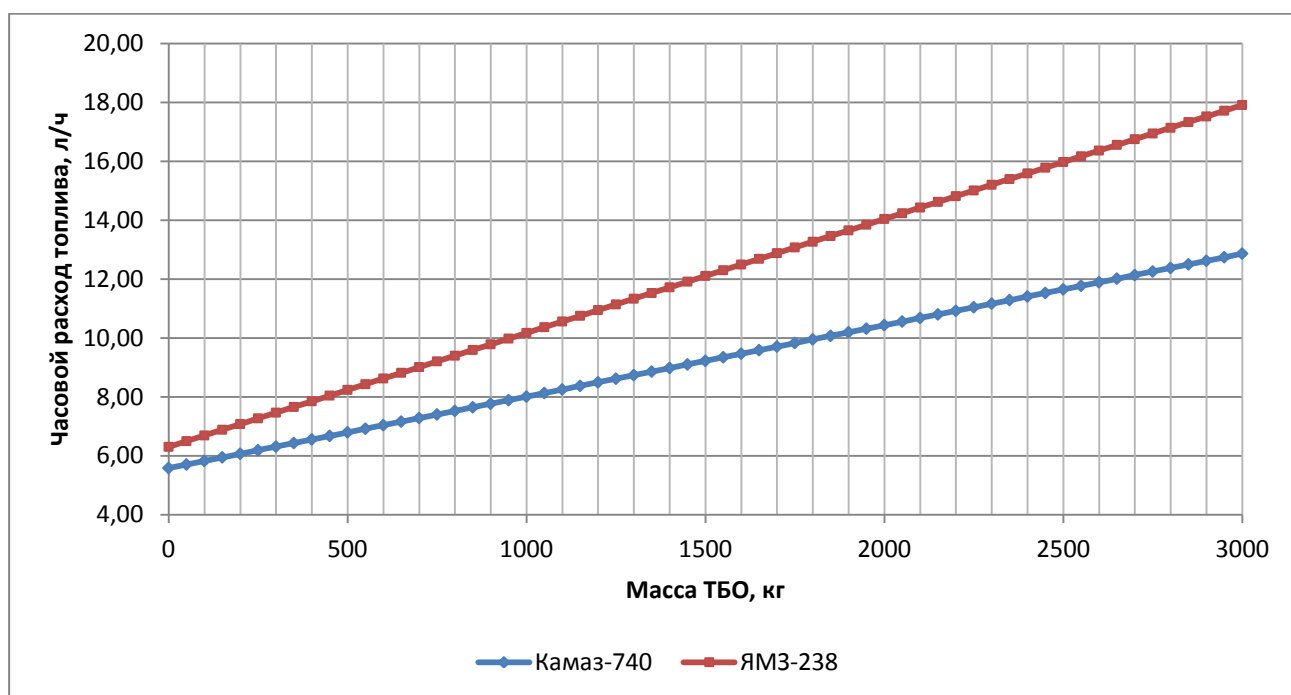


Рис. 4.7. Изменение часового расхода топлива от массы груза (обороты двигателя - 1200 об/мин).

По результатам аналитического исследования, по формуле (1.2) можно спрогнозировать норму расхода топлива за смену для мусоровозов на базе шасси с дизельными двигателями Камаз-740 и ЯМЗ-238.

#### 4.4. Рекомендации по корректировке нормы расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровозов.

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 (Приложение Д).

В настоящее время все предприятия, организации, предприниматели и другие, независимо от формы собственности, эксплуатирующие автомобили на территории Российской Федерации для списания топлива и налогового учета должны рассчитывать нормируемое значение расхода топлива в соответствии с Методическими рекомендациями [57].

Согласно данным рекомендациям, нормы расхода топлива на функционирование специального оборудования ТС определяются научными организациями, занимающимися разработкой подобных норм или заводами-изготовителями специального оборудования. Для спецавтомобилей, выполняющих работы жилищно-коммунального хозяйства, в частности мусоровозов, нормы расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации определяются по методическим рекомендациям Управления жилищно-коммунальной сферы Госстроя России (Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова).

На сегодняшний день парк автотранспортных предприятий выполняющих работы жилищно-коммунального хозяйства постоянно обновляется. Появляются новые, более совершенные и адаптированные к современным условиям эксплуатации транспортные средства. Методические рекомендации, разработанные в 2004 году, не включают весь перечень подвижного состава, эксплуатирующегося на автотранспортных предприятиях. В связи с этим, на автотранспортных предприятиях возникают сложности и разногласия с налоговой инспекцией при списании топлива. Действующие нормативные документы допускают введение юридическим лицом или ИП базовых норм расхода топлива на данные ТС, по индивидуальным заявкам в установленном порядке научными организациями.

Одновременно с этим, действующие методические рекомендации не учитывают все условия эксплуатации, а именно влияние различных факторов на расход топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровоза, как-то:

массу загружаемых отходов и обороты двигателя базового шасси при работе. Нормы, как правило, рассчитываются по верхнему пределу, из-за чего возникает проблема корректности оценки количества фактически израсходованного топлива и наличия перерасхода.

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 мусоровозов в технологическом режиме эксплуатации в зависимости от массы загружаемых отходов и оборотов двигателя базового шасси:

$$Q = (0,01 \cdot H_S \cdot S + Q_{\text{техн}}(m_o; \omega_{\text{дв}})) \cdot (1 + D) + 0,25n \quad (4.4)$$

где где  $Q$  - норма расхода топлива за сутки;  $H_S$  - линейная норма расхода топлива, л/100 км;  $S$  - среднесуточный пробег машины, км;  $n$  – среднесменное количество рейсов;  $D$  - суммарная относительная надбавка к линейному расходу топлива;  $Q_{\text{техн}}(m_o; \omega_{\text{дв}})$  - расход топлива при работе спецоборудования, рассчитанный по разработанной математической модели, л (за смену).

С целью оперативного корректирования норм расхода топлива на предприятии необходимо получать и обрабатывать данные о количестве и массе загруженных контейнеров с ТКО. На рис. 4.8. представлен алгоритм определения нормы расхода топлива за смену на основе разработанной математической модели.

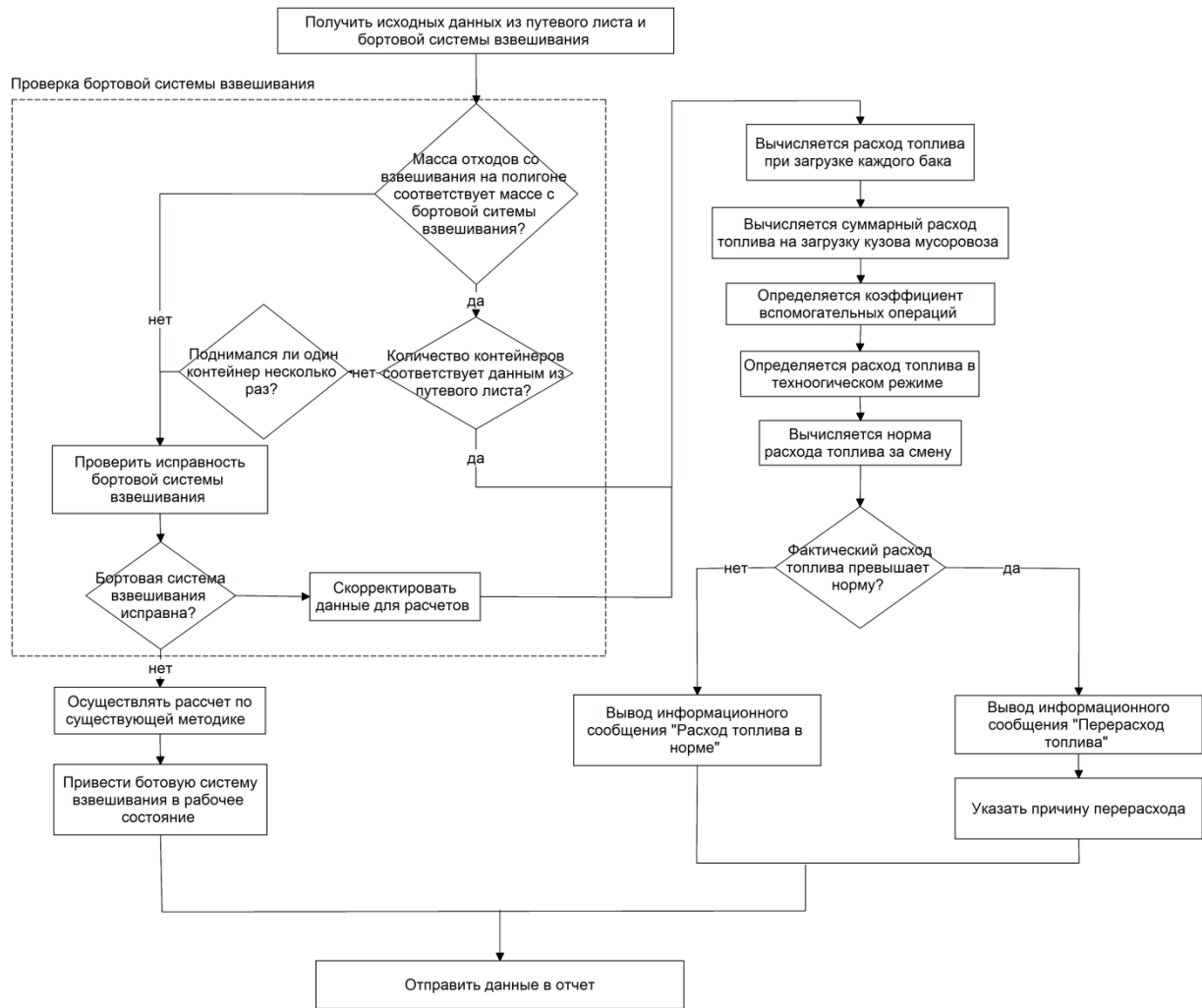


Рис. 4.8. Алгоритм определения нормы расхода топлива мусоровоза.

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:

$$Q_1(k) = \frac{g_e^k \cdot N_H^k}{\rho_{\text{топл}}} \cdot t_{\text{заг.н}} \quad (4.5)$$

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

$$\sum_{i=1}^k Q_1(i) = Q_1(1) + Q_1(2) + \dots + Q_1(k) \quad (4.6)$$

где  $k$  – количество загруженных контейнеров.

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


$$Q_1 = \sum Q_1(k) \cdot K_{\text{всп.оп.}} \quad (4.7)$$

На основании полученных данных, по формуле 4.4 определяется норма расхода топлива мусоровоза за смену. 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. Пример рабочего окна программы представлен на рисунке 4.9.

**РАСЧЕТ НОРМЫ РАСХОДА ТОПЛИВА**

Расчет нормы [Сформировать отчет](#)

Дата: 16.01.2017  Водитель:  Регион:

**АВТОМОБИЛЬ**

Г/н:  Марка:  Двигатель:  Кол-во баков:

Расход топлива:  Пробег:  Масса баков:

**НАДБАВКА**

Д1 - надбавка при работе спецмашин в черте г...  
 Д2 - надбавка на работу спецмашин в зимний п...  
 Д3 - надбавка для автомобилей находящихся в...  
 Д4 - надбавка при работе в городах с большой...  
 Д5 - надбавка к общему расходу топлива на вы...  
перевозке технологического груза

Норма расхода в техн. режиме:   
 Коэффициент оптимизации:   
 Норма расхода за смену:   
 Причина перерасхода:

Информация:

Расход топлива в норме

а

## РАСЧЕТ НОРМЫ РАСХОДА ТОПЛИВА

## Расчет нормы Сформировать отчет

Дата	14.01.2017	Водитель	Иванов Игорь Викторович	Регион	59
<b>АВТОМОБИЛЬ</b>					
Г/н	A267HM159	Марка	БМ-53229-1	Двигатель	КАМАЗ-740
		Расход топлива	190	Кол-во баков	16
		Пробег	294	Масса баков	7480
<b>НАДБАВКА</b>					
<input checked="" type="checkbox"/>	D1 - надбавка при работе спецмашин в черте г				
<input type="checkbox"/>	D2 - надбавка на работу спецмашин в зимний				
<input checked="" type="checkbox"/>	D3 - надбавка для автомобилей находящихся в				
<input checked="" type="checkbox"/>	D4 - надбавка при работе в городах с большой				
<input type="checkbox"/>	D5 - надбавка к общему расходу топлива на вы				
		Норма расхода в техн. режиме	36,9		
		Коэффициент оптимизации	0,87		
		Норма расхода за смену	179		
		Причина перерасхода	Ошибка водителя		
		Ошибка водителя Неисправность базового шасси Неисправность специального оборудования			
ИМПОРТ ДАННЫХ		РАССЧИТАТЬ НОРМУ		СОХРАНИТЬ В ОТЧЕТ	

Информация:

Перерасход топлива за смену

б

Рис. 4.9. Разработанное программное обеспечение для определения нормы расхода топлива мусоровоза за смену.

а – расход топлива в норме; б – фактический расход топлива превышает норму.

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 смену, 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 неисправностях элементов и систем автомобиля, приводящих к снижению топливной экономичности.

На основе предложенной методики, был разработан алгоритм действий инженерно-технической службы АТП при закрытии смены мусоровоза (рисунок 4.10.).

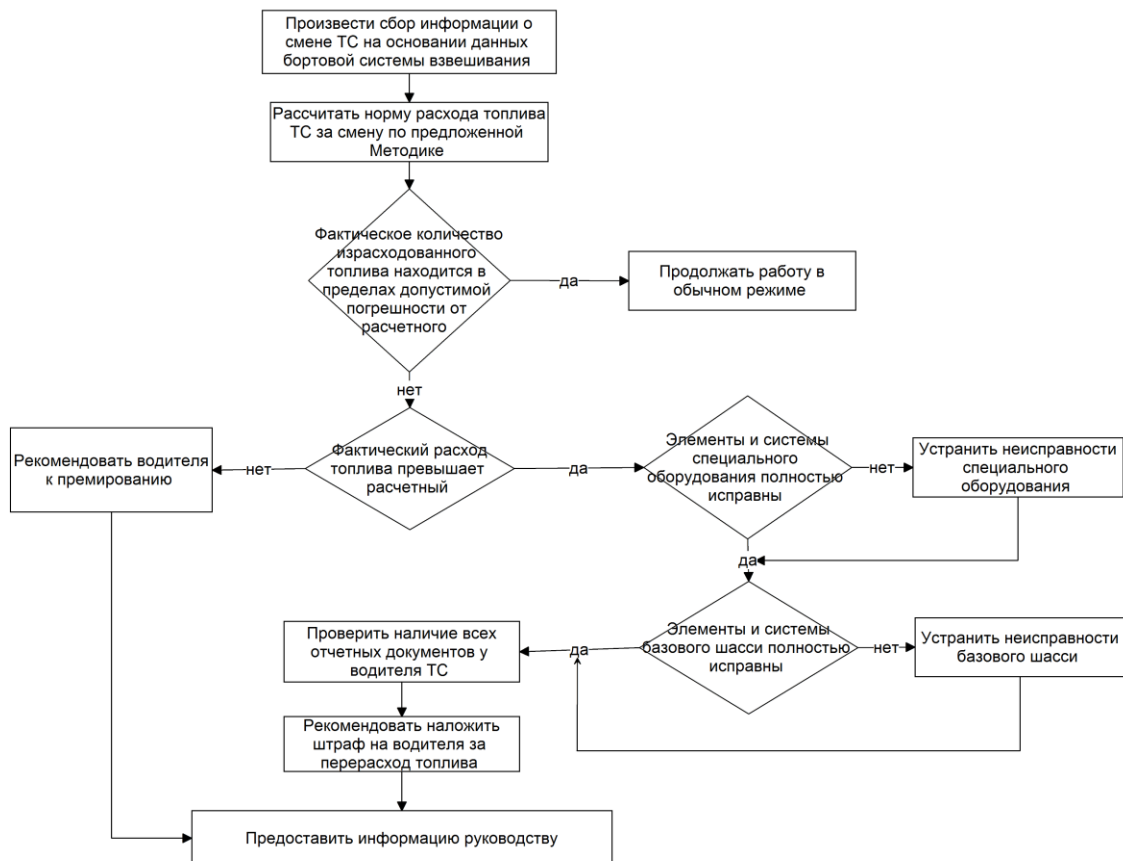


Рис. 4.10. Алгоритм действий ИТС при закрытии смены водителем.

По возвращению транспортного средства (ТС) в парк после окончания смены, механик производит приемку ТС и сбор данных о работе автомобиля за смену (количество рейсов, количество и масса загруженных контейнеров с ТКО, пробег, фактическое количество израсходованного топлива). На основании полученных данных с помощью разработанной методики и программного продукта, механик определяет норму расхода топлива ТС за смену. Если фактическое значение израсходованного топлива отличается от расчетного в пределах погрешности, то закрывается смена водителя с учетом фактического расхода топлива. При существенной экономии топлива, механик

может рекомендовать водителя к премированию. В противном случае, при значительном превышении фактически израсходованного топлива рассчитанной нормы, необходимо выявить причину перерасхода. На первом этапе производится диагностика элементов и систем специального оборудования. При обнаружении неисправностей, необходимо их оперативно устранить. В случае полностью исправного специального оборудования, необходимо провести диагностику элементов и систем базового шасси ТС. При обнаружении неисправностей, также необходимо их оперативно устранить. Если по результатам комплексной диагностики автомобиль находится в полностью исправном состоянии, то вина за перерасход топлива ложиться на водителя. По результатам дополнительной проверки документации, механик может рекомендовать наложить штраф на водителя. Заключительным этапом, необходимо предоставить всю полученную информацию руководству для принятия окончательного решения.

Применение разработанного алгоритма позволит в оперативном режиме выявлять наличие перерасхода топлива транспортного средства (ТС) и определять его причину. При наличии полностью исправного парка ТС это значительно снизит вероятность хищения топлива и неквалифицированного управления ТС, а также позволит существенно повысить топливную экономичность и сократить затраты предприятия.

#### **4.5. Достижимый экономический эффект от внедрения разработанной методики.**

Критерием для всесторонней оценки машины был выбран комплексный показатель – удельные приведенные затраты, позволяющий оценить в едином показателе технические и экономические показатели машины, установить необходимые данные о ее рентабельности и размеры прибыли, которая может быть получена в результате использования разработанной методики.

Методика и порядок определения удельных приведенных затрат выглядит следующим образом [4]:

1. Определение производительности машины;

2. Установление фонда рабочего времени и годовой выработки;
3. Определение общей величины эксплуатационных затрат и их удельного значения;
4. Установление капитальных затрат и их удельной величины.

Годовые удельные приведенные затраты  $Z_{уд}$  (руб/тн) определялись по формуле [29]:

$$Z_{уд} = \frac{Z_{эксп}}{П_{г}} \quad (4.8)$$

где  $Z_{эксп}$  - эксплуатационные затраты, отнесенные к году эксплуатации, руб/г;

$П_{г}$  - годовая эксплуатационная производительность мусоровоза, тн/г.

Годовая эксплуатационная производительность определяется по формуле [4]:

$$П_{г} = П \cdot Т \cdot K_{и} \quad (4.9)$$

где  $П$  - производительность машины, т/ч;  $Т$  – количество часов работы машины в течение года, маш.-ч/год;  $K_{и}$  - коэффициент использования машины на линии.

Годовой фонд работы мусоровоза [27]:

$$Т = (365 - t_c - t_{п}) \cdot t_c / (1 + t_c \cdot t_{рем}), \quad (4.10)$$

где  $t_c$  – время простоя мусоровоза по условиям работы и сезонным особенностям применения, сут;

$t_{п}$  – продолжительность выходных и праздничных дней и дней простоев, сут;

$t_{рем}$  – продолжительность простоя мусоровоза во время ремонта и обслуживания, приходящаяся на 1 ч работы.

Продолжительность простоя мусоровоза во время ремонта и обслуживания определяется по формуле [27]:

$$t_{\text{рем}} = \frac{\text{ПР}_{\text{ТОиР}}}{P}, \quad (4.11)$$

где  $\text{ПР}_{\text{ТОиР}}$  - продолжительность простоя машины во время ТО и Р в год, ч;

$P$  - продолжительность работы в течение суток, ч.

Продолжительность простоя машины в ТО и Р рассчитывается по формуле:

$$\text{ПР}_{\text{ТОиР}} = \text{ПР}_{\text{ТО1}} \cdot n_{\text{ТО1}} + \text{ПР}_{\text{ТО2}} \cdot n_{\text{ТО2}} + \text{ПР}_{\text{ТР}} \cdot n_{\text{ТР}} + \text{ПР}_{\text{КР}} \cdot n_{\text{КР}}, \quad (4.12)$$

где  $\text{ПР}_{\text{ТО1}}$  - продолжительность пребывания машины при ТО1, ч;

$\text{ПР}_{\text{ТО2}}$  - продолжительность пребывания машины при ТО2, ч;

$\text{ПР}_{\text{ТР}}$  - продолжительность пребывания машины при ТР, ч;

$\text{ПР}_{\text{КР}}$  - продолжительность пребывания машины при КР, ч;

$n_{\text{ТО1}}$  - количество ТО1 в год;

$n_{\text{ТО2}}$  - количество ТО2 в год;

$n_{\text{ТР}}$  - количество ТР в год;

$n_{\text{КР}}$  - количество КР в год;

Расчет годового фонда работы мусоровоза проводился по формуле (4.10), исходные данные и результаты расчета представлены в Приложении Е.

Величина эксплуатационных затрат  $Z_{\text{эксп}}$  находилась по формуле [29]:

$$Z_{\text{эксп}} = И + A_o \quad (4.13)$$

где  $И$  - годовые затраты на эксплуатацию машины (без учета амортизационных отчислений на реновацию), руб/г;  $A_o$  - амортизационные отчисления, руб/г.

Для расчета амортизационных отчислений был выбран линейный метод:

$O_a$  – амортизационные отчисления, руб/год;

$$O_a = \frac{C_m}{\text{СПИ}} \quad (4.14)$$

где  $C_m$  - себестоимость мусоровоза, руб;

СПИ – срок полезного машины использования, лет.

Расчетные годовые затраты на эксплуатацию машины определялись по формуле [29]:

$$И = S_{зп} + S_э + S_c + S_r + S_{\text{ТОиР}} + S_{ш} + S_k \quad (4.15)$$

где  $S_{зп}$  - заработная плата (основная и дополнительная) рабочих, управляющих техникой, с учетом отчислений на социальное страхование, руб/г;

$S_э$  - затраты на энергоносители, руб/г;

$S_c$  - затраты на смазочные материалы, руб/г;

$S_r$  - затраты на гидравлическую жидкость, руб/г;

$S_{\text{ТОиР}}$  - затраты на все виды технического обслуживания и ремонтов, руб/г;

$S_{ш}$  - затраты на замену шин, руб/г;

$S_k$  - косвенные затраты, руб/г.

Для расчета затрат на заработную плату необходимо определить размеры ставок сотрудников на 1 автомобиль.

Различают явочный и списочный состав сотрудников. В списочный состав включена часть сотрудников по тем или иным причинам отсутствующих на работе. Количество сотрудников в списочном составе можно определить по формуле [27]:

$$Ч_{сп} = Ч_{яв} \cdot K_{зам} \quad (4.16)$$

где  $\mathcal{C}_{\text{СП}}$  – количество сотрудников в списочном составе, чел;

$\mathcal{C}_{\text{ЯВ}}$  – количество сотрудников в явочном составе, чел;

$\kappa_{\text{зам}}$  - коэффициент замещения.

Коэффициент замещения примем  $\kappa_{\text{зам}}=1,12$ .

Явочным составом основного персонала мусоровоза являются 2 водителя-оператора, поэтому затраты на заработную плату основного персонала можно найти по формуле [27]:

$$S_{\text{ЗП}} = \mathcal{C}_{\text{ЯВ}} \cdot \kappa_{\text{зам}} \cdot \text{СЗ} + \text{ОС} \quad (4.17)$$

где СЗ – средняя годовая зарплата по региону, руб;

ОС – отчисления на социальные нужды, руб.

К затратам на заработную плату также необходимо отнести отчисления на социальные нужды. В 2016 г. общий норматив отчислений в государственные внебюджетные фонды составляет 47 % от фонда оплаты труда.

Затраты на энергоносители  $S_9$  рассчитываются по формуле[29]:

$$S_9 = E_T \cdot \mathcal{C}_1 \quad (4.18)$$

где  $E_T$ – годовая норма расхода топлива, л;

$\mathcal{C}_1$ – стоимость 1 литра топлива, руб;

Затраты на смазочные материалы определялись по формуле [29]:

$$S_c = \varepsilon S_9 \quad (4.19)$$

где  $\varepsilon$  - коэффициент перехода от затрат на энергоноситель к затратам на смазочные материалы.

Затраты на рабочую жидкость определяются по формуле [4]:

$$S_{\Gamma} = V_{\Gamma} \cdot \gamma_{\text{м}} \cdot \text{Ц}_{\text{мг}} \cdot k_{\text{qг}} \cdot \frac{T}{t_{\text{мг}}} \quad (4.20)$$

где  $V_{\Gamma}$  - емкость гидросистемы, м<sup>3</sup>;

$\gamma_{\text{м}}$  - объемная масса рабочей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$\text{Ц}_{\text{мг}}$  - цена рабочей жидкости, руб/кг;

$k_{\text{qг}}$  - коэффициент доливок жидкости в гидросистему;

$t_{\text{мг}}$  - периодичность замены жидкости в гидросистеме, маш-ч.

Затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт  $S_{\text{ТОиР}}$  включают заработную плату ремонтных рабочих  $S_{\text{зп.р.}}$ , руб., включая социальные отчисления, а также стоимость материалов и запасных частей  $C_{\text{то}}$ , руб.

$$S_{\text{ТОиР}} = S_{\text{зп.р.}} + C_{\text{то}} \quad (4.21)$$

Явочная численность ремонтных рабочих, занятых техническим обслуживанием и ремонтом определяется по формуле [27]:

$$\text{Ч}_{\text{то}} = \frac{t_{\text{то}}}{T} \quad (4.22)$$

где  $\text{Ч}_{\text{то}}$  – количество ремонтных рабочих, занятых техническим обслуживанием и ремонтом в явочном составе, чел;

$t_{\text{то}}$  – время простоя мусоровоза во время технического обслуживания и ремонта, ч.

Заработная плата ремонтных рабочих рассчитывалась по формуле (4.17).

Количество и стоимость материалов и запасных частей для технического обслуживания и ремонта мусоровоза зависит от объема перевозок. В свою очередь объем перевозок зависит от провозной способности ПС, которую можно определить по формуле [27]:

$$\text{ПС} = q \cdot y \cdot z \cdot \left( 365 - t_{\text{с}} - t_{\text{п}} - \frac{t_{\text{то}}}{24} \right) \quad (4.23)$$

где  $q$  – грузоподъемность автомобиля, т;

$y$  – коэффициент использования грузоподъемности;

$z$  – число ездов автомобиля за сутки.

Рассчитаем годовой грузооборот мусоровоза по формуле [27]:

$$ГО = ПС \cdot l_{cp} \quad (4.24)$$

где  $l_{cp}$  – средний пробег мусоровоза за одну поездку, км.

Количество автомобиле-км определяется по формуле [27]:

$$A = \frac{ГО}{q \cdot y} \quad (4.25)$$

Стоимость материалов и запасных частей для технического обслуживания и ремонта мусоровоза [27]:

$$C_{то} = \frac{A}{1000} \cdot НРМ \quad (4.22)$$

где НРМ – норма расхода материалов на техническое обслуживание и ремонт, руб/1000 км.

Затраты на замену шин определялись по формуле [27]:

$$S_{ш} = \frac{A \cdot n_{ш}}{L_{ш}} \cdot C_{ш} \quad (4.26)$$

где  $n_{ш}$  – число колёс автомобиля;

$L_{ш}$  – норма пробега шины;

$C_{ш}$  – стоимость шины, руб.

Косвенные расходы определялись по формуле [29]:

$$S_k = 0,3S_{зп} + 0,1(S_э + S_c + S_r + S_{тоиР} + S_{ш}) \quad (4.27)$$

Расчет годовых эксплуатационных затрат мусоровоза проводился по формулам 4.10-4.28, исходные данные и результаты расчетов представлены в Приложении Е.

Производительность мусоровоза [27]:

$$\Pi = \frac{Q_{\text{куз}} \cdot k_z \cdot k_y \cdot \rho_{\text{отх}} \cdot 60}{\left[ t_{\text{пер}} \cdot (n_z - 1) + (t_{\text{ман}} + t_{\text{пз}}) \cdot n_z + t_{\text{погр}} \cdot n + t'_{\text{пз}} + t_{\text{разгр}} + \frac{2 \cdot 60 \cdot l}{v_{\text{ср.тр}}} \right]}, \quad (4.28)$$

где  $Q_{\text{куз}}$  – вместимость кузова мусоровоза, м<sup>3</sup>;

$k_z$  – коэффициент заполнения кузова мусоровоза;

$k_y$  – коэффициент уплотнения отходов в кузове;

$\rho_{\text{отх}}$  – плотность отходов, т/м<sup>3</sup>;

$t_{\text{пер}}$  – средняя продолжительность переездов мусоровоза от одного места сбора отходов до другого, мин;

$t_{\text{ман}}$  – средняя продолжительность маневрирования мусоровоза при въезде во дворы и подъезда к контейнеру, мин;

$t_{\text{пз}}$  – средняя продолжительность подготовительно-заключительных операций при погрузке контейнеров, мин;

$t_{\text{погр}}$  – средняя продолжительность погрузки одного контейнера, мин;

$t'_{\text{пз}}$  – средняя продолжительность подготовительно-заключительных операций по разгрузке мусоровоза на полигоне, мин;

$t_{\text{разгр}}$  – средняя продолжительность разгрузки мусоровоза на полигоне, мин;

$n_z$  – число заездов мусоровоза во дворы в течение одного цикла загрузки;

$n$  – число загружаемых контейнеров в кузов мусоровоза за один цикл;

$l$  – среднее расстояние от места сбора отходов до места их обезвреживания и утилизации, км;

$V_{\text{ср.тр}}$  – средняя транспортная скорость, км/ч.

Расчет производительности мусоровоза проводился по формулам 4.9, 4.28, исходные данные и результаты расчетов представлены в Приложении Е.

В сводной таблице 4.6 представлены полученные показатели работы мусоровоза и рассчитаны годовые удельные затраты.

Таблица 4.6 - Годовые удельные затраты мусоровоза

№	Показатель	Ед. изм.	Мусоровоз с задней загрузкой ТКО БМ-53229-1	
			по действующей методике	по предложенной методике
1	Годовой фонд работы машины, $T$	маш-ч/год	3540,48	3540,48
2	Годовые эксплуатационные затраты, $Z_{\text{экс}}$	руб/г	4992022	4781764,50
3	Годовая эксплуатационная производительность, $P_{\text{г}}$	т/г	2243	2243
4	Годовые удельные приведенные затраты, $Z_{\text{уд}}$	руб/т	2225,60	2131,86

Таким образом, применение предложенной методики позволит за счет снижения годовых эксплуатационных затрат снизить удельные приведенные годовые затраты до 4,4 %. При определении по действующей методике годовые удельные приведенные затраты составят 2225,60 руб/т, по предложенной методике – 2131,86 руб/т, что позволит при существующей загрузке автомобиля экономить на его эксплуатации до 210 тыс. руб. в год.

#### **Выводы по главе 4.**

1. Получены экспериментальные зависимости изменения расхода топлива мусоровоза от массы загружаемых отходов и оборотов двигателя базового шасси при подъеме контейнеров с ТКО.

2. Проведено аналитическое исследование. Разработана математическая модель формирования расхода топлива мусоровоза в технологическом режиме эксплуатации под влиянием массы поднимаемого груза с учетом специфики работы специального оборудования. Проведена оценка адекватности математической модели реальному объекту.

3. Установлены экспериментальные закономерности изменения часового 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. Часовой расход топлива в процессе загрузки отходов максимально допустимой массой может превышать часовой расход при минимальной нагрузке более чем в 2 раза.

4. На основе установленных закономерностей разработана методика дифференцированного корректирования норм расхода топлива с учетом загрузки автомобилем различной массы груза. Применение разработанной методики позволит снизить удельные приведенные годовые затраты до 4,4 %, что позволит, при существующей загрузке автомобиля, экономить на его эксплуатации до 200 тыс. руб. в год.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. На основе разработанных экспериментально-расчетных зависимостей решена важная научно-практическая задача снижения эксплуатационных затрат автотранспортных предприятий путём оперативного корректирования норм расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации специальных автомобилей для сбора и транспортирования твердых коммунальных отходов.

2. Анализ факторов, влияющих на формирование расхода топлива мусоровозов 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 формирования расхода топлива 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 прогнозировать часовой расход топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровозов с дизельным двигателем.

4. Установлены экспериментальные закономерности изменения часового 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. На основе установленных закономерностей разработана методика дифференцированного корректирования норм расхода топлива с учетом загрузки автомобилем различной массы груза. 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 корректировке нормы расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровозов, использование которых позволяет уменьшить затраты на топливо на АТП. Экономический эффект достигается за счет научно-обоснованного снижения норм расхода топлива и, как следствие, позволит в оперативном режиме выявлять наличие перерасхода топлива ТС и определять его причину.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий./ Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
2. Алтунина М. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта кузовных мусоровозов: дис. ... канд. техн. наук. – 2015г. – с. 145.
3. Аношина Т.С. Повышение экономических и экологических качеств транспортного дизеля при работе на режимах малых нагрузок и холостых ходов : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. - Москва, 2014. –18 с.
4. Баловнев В.И. Эксплуатация специальных автомобилей для содержания и ремонта городских дорог: практическое пособие / Баловнев В.И., Карабан Г.Л., Засов И.А. и др. – 2-е изд. перераб. И доп. – М.: Транспорт, 1992. – 263 с.
5. Басс Б.А. Повышение топливной экономичности бензиновых двигателей увеличением энергии источника искрового зажигания : дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 . - Москва, 1984. – 201 с.
6. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы./ Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Учебник для машиностроительных вузов. 2-е изд., перераб. - М.: Машиностроение, 1982.– 423 с.
7. Великанов Д.П. Автомобильные транспортные средства. / Д.П. Великанов, В.И. Бернацкий, Б.Н. Нифонтов, И.П. Плеханов. – М.: Транспорт, 1977. – 326 с.
8. Вершинин О.С. Система измерения расхода топлива на транспортных средствах в условиях эксплуатации и ее аппаратурная реализация: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13. - Казань, 2009. –16 с.
9. Гидроцилиндры для мусоровозов производства ОАО «Ряжский АРЗ». [Электронный ресурс]. URL: <http://prommashina.ru/gcarz> (дата обращения: 12.09.2016).

10. Гликман Б.Ф. Математические модели пневмогидравлических систем. – М.: Наука, 1986. – 368 с.
11. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие./В.Е. Гмурман. – М.: Высшее образование, 2008. – 479 с.
12. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.
13. Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики/ С.К. Годунов, А.В. Забродин, М. Я. Иванов и др. – М.: Наука, 1976. – 400 с.
14. Датчики давления DMP 33L, DMP 330H. Руководство по эксплуатации. - г. Москва, 2013 г. – 13 с.
15. Демин Е.С. Методы вычислений уровня и плотности топлива наземных транспортных средств при ассиметричных измерениях. / Демин Е.С.- Вестник Иркутского Государственного технического университета. № 2 (109) – Иркутск, 2016. – с. 107-115.
16. Евтин П.В. Оценка погрешности измерения расхода топлива методом «доливки бака до полного. / Евтин П.В., Резник Л.Г. – Приспособленность автомобилей, строительных и дорожных машин к суровым условиям эксплуатации. Межвузовский сборник научных трудов. – Тюмень, 1999. – с. 45-47
17. Евтин, П.В. Сбережение топлива при эксплуатации автомобилей в температурных условиях севера и Сибири: Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 Тюмень, 2000 – 125 с.
18. Елисеева И.И. Статистика. Учебник для вузов./ под ред. И.И. Елисеевой – СПб.: Питер, 2010. – 368 с.
19. Елисеева И.И. Эконометрика: учебнк / И.И. Елисеева, С.В. Курышева, Т.В. Костеева и др.; под ред. Елисеевой И.И. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. Финансы и статистика, 2007. – 576 с.
20. Желтышев А.В. Измерение расхода топлива автомобилей с электронным управлением системы питания. / А.В. Желтышев, Н.Н.

Желтышева, А.К. Назиров – Механики XXI Веку. №14 – Братск, 2015. – с. 213-216.

21. Зажигаев Л.С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента./ Л.С. Зажигаев, А.А. Кишьян, О.И. Романиков. – М.: Атомиздат, 1978. - с. 232.

22. Закон Пермского края о программе социально-экономического развития Пермского края на 2012-2016 годы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.perm.ru/images/banners/140-20.12.12.pdf> (дата обращения: 10.07.2014).

23. Захаров, Д.А. Влияние зимних условий эксплуатации автомобилей на топливную экономичность двигателей: Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 Тюмень, 2000 – 165 с.

24. Захаров, Н.С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 127 с.

25. Захаров, Н.С. Система формирования расхода топлива снегоочистительными автомобилями аэропортов / Н.С. Захаров, И.Ф. Шакиров // Инженерный вестник Дона, 2015, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2825](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2825)

26. Иванов, А.С. Приспособленность газодизельных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации и массе перевозимого груза по расходу топлива и токсичности отработавших газов: Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 Тюмень, 2011 – 155 с.

27. Карабан Г. Л. Машины для городского хозяйства/ Г.Л. Карабан, В.И. Баловнев, И.А. Засов, Б.А. Лифшиц. – М.: Машиностроение, 1988. - 272 с.

28. Карабан Г. Л. Машины для городского хозяйства/ Г.Л. Карабан, В.И. Баловнев, И.А. Засов, Б.А. Лифшиц. – М.: Машиностроение, 1988. - 272 с.

29. Карпухин П.Г. Определение грузоподъемности машин для сбора и вывоза твердых отходов: дис. ... канд. техн. наук.: 05.05.04. – Москва, 2004г. – 196 с.

30. Квишко В.Ф. EPSILON — инновации в измерении уровня топлива./ Квишко В.Ф. - ГЛОНАСС – РЕГИОНАМ. Материалы 3-ей Всероссийской научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», под общей редакцией д.т.н., проф. А.Н. Новикова. 2013 – Орел, 2013. – с. 60-62
31. Кожевников Е.В. Повышение эффективности транспортно-логистического процесса доставки твердых бытовых отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. - Москва, 2004. –26 с.
32. Коробки отбора мощности. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.korobki.ru/catalog/kom/zil-mp69-4202010-40.html> (дата обращения: 12.09.2016).
33. Льюис Э. Гидравлические системы управления./ Э. Льюис, Х. Стерн. – М.: Мир, 1966. – 407 с.
34. Лялькина Г.Б. Математическая обработка результатов эксперимента: учеб. пособие. / Г.Б. Лялькина, О.В. Бердышев – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 78 с.
35. Ляпин Н. А. Оценка экономической эффективности владения грузовым коммерческим автомобилем: монография/ Н. А. Ляпин, Е. Ю. Ивакина, А. А. Раюшкина, А. П. Федин, К. В. Чернышов; под ред. Н. А. Ляпина; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 112 с.
36. Макарова А. Н. Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учётом фактических условий эксплуатации автомобилей. Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Оренбург, 2016.208 с.
37. Мальцев Д.В. Совершенствование организации перевозочного процесса твердых бытовых отходов автомобильным транспортом : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 . - Орел, 2016. – 142 с.
38. Матиевский Г.Д. Снижение расхода топлива и вредных выбросов дизеля на режимах постоянной мощности : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. - Барнаул, 2013. –16 с.

39. Мацулевич М.А. Повышение топливной экономичности на эксплуатационных режимах при смешанном регулировании мощности бензинового двигателя : дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 . - Челябинск, 2013. – 155 с.
40. Медведев А.Н. Повышение топливной экономичности автомобильных дизелей отключением части цилиндров : дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 . - Челябинск, 2008. – 138 с.
41. Моисеева, Н.М. Повышение эффективности управления процессами перевозок твердых бытовых отходов на территории области: Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 Москва, 2008.
42. Мусоровоз МКЗ-10. Руководство по эксплуатации и ремонту. – ОАО «Ряжский авторемонтный завод» - г. Ряжск – с. 19.
43. Мусоровоз с задней загрузкой БМ-53229-1[Электронный ресурс]. URL: <http://moskommash.ru/magazin/musorovozy/musorovozy-s-obemom-18-3/musorovoz-s-zadnej-zagruzkoj-bm-7028-13-01-bm-53229-1> (дата обращения: 01.07.2016).
44. Назаров А.И. Системы линейных уравнений и алгебра матриц : Учеб. пособие / А.И.Назаров,И.А.Назаров,Г.С.Светлова. - СПб: Изд-во СПбГЭТУ, 1994.
45. Олимпиев А.В. Повышение эффективности двухэтапной технологии вывоза отходов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 . - Москва, 2014. – 119 с.
46. Певнев Н.Г. «Экономическая оценка обновления парка подвижного состава АТП»: методические указания по выполнению курсовой работы для студентов специальности 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство» очной и заочной форм обучения /сост.: Н.Г. Певнев, Е.О. Чебакова, Л.С. Трофимова. – Омск: СибАДИ, 2010.–48 с.
47. Петруня И.А. Повышение эксплуатационной топливной экономичности транспортных дизелей регулированием их рабочих объёмов : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. - Москва, 2014. –18 с.

48. Плотность отходов. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eco-tbo.ru/volume/plotnost.pdf> (дата обращения: 24.11.2016).
49. Подчуфаров Б.М. Основы динамики тепломеханических систем: учеб. пособие / Б.М. Подчуфаров. – Тула: ТулПИ, 1982. – 82 с.
50. Подчуфаров Ю.Б. Математические модели автоматических систем. Гидромеханические системы: учеб. пособие / Ю.Б. Подчуфаров, Г.Б. Кирик, В.М. Андреев. – Тула: ТулПИ, 1987. – 96 с.
51. Подчуфаров Ю.Б. Физико-математическое моделирование систем управления и комплексов/ Ю.Б. Подчуфаров. – М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2002. – 168 с.
52. Постановление Госстроя РФ от 09.03.2004 N 36 "Об утверждении рекомендаций по расходу топлива машинами для содержания, ремонта автомобильных дорог и объектов внешнего благоустройства поселений".
53. Постановление администрации города Перми от 10.03.2010 №109 «Об утверждении концепции администрации города Перми по санитарной очистке территории города Перми от твердых бытовых отходов» [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
54. Применение технических средств контроля для сокращения эксплуатационных затрат грузовых автомобилей/ А.В. Проценко, М.Д. Малютин – Техника и технологии строительства. № 1(1) - Омск: СибАДИ, 2015. – с.96-103.
55. Прокофьев В.Н. Аксиально-поршневой регулируемый гидропривод/ В.Н. Прокофьев, Ю.А. Данилов, Л.А. Кондаков.- М.: Машиностроение, 1969. – 495 с.
56. Прокофьев В.Н. Машиностроительный гидропривод/ В.Н. Прокофьев, Л.А. Кондаков, Г.А. Никитин. – М.: Машиностроение, 1978 – 495 с.
57. Распоряжение Минтранса России от 14.03.2008 N АМ-23-р (ред. от 14.07.2015) "О введении в действие методических рекомендаций "Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте".

58. Санитарные правила содержания территорий населенных мест: СанПиН 42-128-4690-88: утв. Минздравом СССР 05.08.1988 №4690-88. – 1988. – с. 10.

59. Северова, Е.С. Разработка методики планирования перевозок твердых коммунальных отходов автомобильным транспортом: Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 Тюмень, 2006. 130 с.

60. Тензодатчики: каталог. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.tenso-m.ru/pages/21?cat\\_id=11](http://www.tenso-m.ru/pages/21?cat_id=11) (дата обращения: 10.05.2012).

61. Технические характеристики Коммаш (Москва) БМ-53229-1 на шасси КамАЗ-65115. [Электронный ресурс]. URL: [http://dorkomteh.ru/excapedia/technic/kommash\\_moskva\\_bm-53229-1\\_na\\_shassi\\_kamaz-65115](http://dorkomteh.ru/excapedia/technic/kommash_moskva_bm-53229-1_na_shassi_kamaz-65115) (дата обращения: 12.09.2016).

62. Ульянов С.В. Интеллектуальные системы управления физическими и логическими экспериментами/ С.В. Ульянов, Г.П. Решетников, Н.А. Токарева, О.А. Крейдер. // журнал «Системный анализ в науке и образовании».- 2013. – №1. - с. 1-64.

63. Федорец В.А. Расчет гидравлических и пневматических приводов гибких производственных систем/ В.А. Федорец. – Киев: «Выща школа», 1988. – 180 с.

64. Хмелев Р.Н. Математическое и программное обеспечение системного подхода к исследованию и расчету поршневых двигателей внутреннего сгорания: монография. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – 229 с.

65. Чайников, Д.А. Приспособленность автомобилей к массе перевозимого груза по расходу топлива. Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Тюмень, 2006. – 137 с.

66. Чернов Г. DS18B20 русское описание работы с датчиком температуры/ Г. Чернов. - Украина: Магетекс, 2009. – 33 с.

67. Шатров М.Г. Автомобильные двигатели: учебник для студ. высш. учеб. заведений / М.Г. Шатров, К.А. Морозов, И.В. Алексеев и др.-М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 464 с.

68. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента./ Х. Шенк. – М.: Мир, 1972, 381 с.

69. Шмелев С.А. Анализ технического уровня расходомеров дизельного топлива./Шмелев С.А., Буклагин Д.С. - ВЕСТНИК ВИЭСХ №7 том 2. – Москва, 2012. – с. 64-65.

70. Шмелев С.А. Методы и приборы для измерения расхода топлива при испытаниях сельскохозяйственной техники. / Шмелев С.А., Буклагин Д.С. – Техника и оборудование для села. № 12 (185). – Правдинский, 2012. – с. 15-17

71. Электронная система управления двигателем. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.remkam.ru/kamze81-3/> (дата обращения: 12.09.2016).

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

Таблица П.1.1. Технические характеристики мусоровоза БМ-53229-1

<b>Параметры</b>	<b>Значение</b>
Тип базового шасси	Камаз-65115
Вместимость кузова, куб. м.	18,5
Масса спецоборудования, кг	6215
Масса вывозимого мусора, кг	11000
Коэффициент уплотнения мусора	6
Габаритные размеры, мм	
– длина	9015
– ширина	2500
– высота	3700
Грузоподъемность кантователей, кг	
– для контейнеров 0,8 и 1,1 м <sup>3</sup>	500
– для контейнеров 7,5 м <sup>3</sup>	2000

Таблица П.2.1. Характеристики элементов первого контура гидравлической системы мусоровоза БМ-53229-1

<b>Показатель</b>	<b>Значение</b>
Гидравлический насос	Аксиально-поршневой нерегулируемый насос 210.16 левого вращения
Рабочий объем, см <sup>3</sup>	28,1
Номинальная подача насоса л/мин	52,3
Номинальная мощность насоса, кВт	19,1
Коэффициент подачи насоса	0,97
КПД насоса	0,925
Максимальная частота вращения, об/мин	1920

Таблица П.2.2. Характеристики элементов второго контура гидравлической системы мусоровоза БМ-53229-1

<b>Показатель</b>	<b>Значение</b>
Гидравлический насос	Аксиально-поршневой нерегулируемый насос 310.56 правого вращения
Рабочий объем, см <sup>3</sup>	56,0
Номинальная подача насоса л/мин	210,0
Номинальная мощность насоса, кВт	147,0
КПД насоса	0,925
Максимальная частота вращения, об/мин	3750

Таблица П.2.3. Характеристики гидроцилиндров специального оборудования мусоровоза БМ-53229-1

<b>Применяемость гидроцилиндра</b>	<b>Геометрические размеры (Диаметр поршня x диаметр штока x ход поршня), мм</b>
Гидроцилиндр подъема задней части	90x50x620
Гидроцилиндр несущей плиты	110x56x780
Гидроцилиндр несущей плиты с электродатчиком	110x56x780
Гидроцилиндр прессующей плиты	90x50x415
Гидроцилиндр прессующей плиты с электродатчиком	90x50x415
Гидроцилиндр загрузочного устройства	80x56x400
Гидроцилиндр портальной загрузки	80x45x1200
Гидроцилиндр подъема загрузочной рамки	50x25x50

Таблица П.3.1. Основные технические характеристики устройства

№	Наименование параметра	Значение
1	Количество каналов	2
2	Разрядность АЦП	24 бит
3	Входное сопротивление	11 МОм
4	Диапазон входного сигнала	0-5 В
5	Максимальная частота преобразования	470 Гц
6	Защита входов	Защитные диоды
7	Напряжение питания постоянного тока	24 В.
8	Потребляемая мощность, не более	0,5 Вт
9	Габаритные размеры	115x90x35мм
10	Время преобразования	60-80 нс
11	Шум среднеквадратичный	40 нВ (при 4,17 Гц)
		85 нВ (при 16,7 Гц)
12	Интегральная нелинейность	78,75 мкВ

Таблица П.3.2. Основные характеристики датчика DMP 330L

Характеристика	Величина
Диапазон измерений	0-25000 кПа
Основная погрешность	±0.5%
Температура измеряемой среды	от -25 °С до +135 °С
Допустимое рабочее напряжение питания	14-36 В
Класс защиты от окружающей среды	IP 67

Таблица П.3.3. Основные технические характеристики тахометра

Характеристика	Величина
Напряжение питания	24 В
Посадочный диаметр	100 мм
Диапазон показаний	0 – 4000 об/мин
Цена деления шкалы	100 об/мин

Таблица П.3.3. Основные технические характеристики весов

Характеристика	Величина
Напряжение питания	220В/ 4В/ 4Ач
Максимальная нагрузка	60 кг
Минимальная нагрузка	0,2 кг
Цена деления шкалы	10 г
Класс точности	III
Диапазон рабочих температур	от -10 °С до +40 °С

Таблица П.4.1. Исходные данные для расчетов

Наименование параметра	Значение
AE (рис. 2.2)	2,55 м
AB (рис. 2.2)	0,68 м
AC (рис. 2.2)	2,26 м
CD (рис. 2.2)	0,2 м
AD (рис. 2.2)	2,25 м
Высота подъема манипулятора	1,2 м
КПД гидравлической системы	0,99
КПД привода гидронасоса	0,855
Передаточное число от коленчатого вала двигателя к валу гидронасоса	1,26
Масса грузозачного портала	500 кг
$K_{\text{всп.заг.}}$	30

МЕТОДИКА ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО КОРРЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НОРМЫ РАСХОДА ТОПЛИВА СПЕЦИАЛЬНЫХ  
АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ МАССЫ ПОДНИМАЕМОГО ГРУЗА

Документ разработан в дополнение к методическим рекомендациям  
«Рекомендации по расходу топлива машинами для содержания, ремонта  
автомобильных дорог и объектов внешнего благоустройства поселений»

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

1. Состояние вопроса
2. Цель и задачи методики
3. Методика дифференцированного корректирования технологической нормы расхода топлива специальных автомобилей с учетом массы поднимаемого груза
4. Заключение

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Проблема управления отходами производства и потребления все острее встает в России и за рубежом. 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 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 предприятий в обеспечении нефтепродуктами, осуществления расчетов по налогообложению предприятий, осуществления режима экономии и энергосбережения потребляемых нефтепродуктов, проведения расчетов с пользователями транспортных средств, водителями и т.д. на АТП необходимо определять норму расхода топлива автомобилем. Действующие методические рекомендации по определению нормы расхода топлива ПС и существующие надбавки к ней, не учитывают и не отражают все условия эксплуатации специальных автомобилей в технологическом режиме работы, поэтому на АТП, нормы, как правило, рассчитываются по верхнему пределу. Данный факт не позволяет корректно определить перерасход топлива и выявить его причину, плохое техническое состояние специального оборудования, утечки в гидросистеме, неквалифицированное управление транспортным средством (ТС), хищение и др.

Основными факторами, оказывающими влияние на расход топлива в технологическом режиме эксплуатации мусоровозов, являются масса загружаемых отходов и обороты двигателя базового шасси.

Реальная экономия на АТП может достигаться при корректном учете движения топлива, и, в первую очередь, определения нормы расхода топлива ТС. Обоснованную норму расхода топлива в зависимости от массы загружаемых отходов возможно определить по предлагаемой методике.

### **ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ МЕТОДИКИ**

Целью методики является повышение эффективности эксплуатации автомобильного транспорта посредством более объективного подхода к процессу расчета норм расхода топлива.

Задача методики – регламентировать последовательность действий инженерно-технической службы при учете движения топлива на предприятии.

## МЕТОДИКА ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО КОРРЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НОРМЫ РАСХОДА ТОПЛИВА СПЕЦИАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ МАССЫ ПОДНИМАЕМОГО ГРУЗА.

Для определения значений нормы расхода топлива специального автомобиля, дифференцированной в зависимости от массы загружаемых отходов, сотруднику инженерно-технической службы (ИТС) АТП необходимо выполнить следующий порядок действий:

1. Перед началом смены провести инструктаж водителя-оператора о необходимости установки минимально возможных оборотов двигателя при выполнении технологических операций.

2. По окончании смены водителя-оператора с помощью автоматической бортовой системы взвешивания, произвести сбор данных о дате, времени и месте загрузки ТКО, количестве и массе загруженных контейнеров с ТКО. На основании путевого листа определить пробег и фактический расход топлива за смену.

3. На основании полученных данных произвести расчет нормы расхода топлива при загрузке контейнера с ТКО:

$$Q_1(k) = \frac{g_e^k \cdot N_H^k}{\rho_{\text{топл}}} \cdot t_{\text{заг.н}} \cdot 10^{-3} \quad (4.5)$$

где  $t_{\text{заг.н}}$  - время загрузки  $k$ -го контейнера с ТКО, ч;  $g_e^k$  - удельный расход топлива при загрузке  $k$ -го контейнера с ТКО, г/(кВт\*ч);  $N_H^k$  - нагрузка на коленчатом валу двигателя при загрузке  $k$ -го контейнера с ТКО, кВт;  $\rho_{\text{топл}}$  - плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>.

4. Определить количество топлива, потраченное на загрузку кузова мусоровоза:

$$\sum_{i=1}^k Q_1(i) = Q_1(1) + Q_1(2) + \dots + Q_1(k) \quad (4.6)$$

где  $k$  – количество загруженных контейнеров.

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

$$Q_1 = \sum Q_1(k) \cdot K_{\text{всп.оп.}}$$

5. Рассчитать по действующим рекомендациям норму расхода мусоровоза за смену.

6. Сравнить полученное значение с количеством фактически израсходованного топлива за смену.


7. При наличии значительном превышении фактически израсходованного топлива нормы, произвести анализ причин перерасхода. По результатам проверки, рекомендовать водителя-оператора к премированию или депремированию.

8. При расхождении значений в пределах погрешности, продолжать работу в штатном режиме.

Для простоты и автоматизации применения данных норм разработана программа, имеющая пользовательский интерфейс, представленный на рисунке 1.

## РАСЧЕТ НОРМЫ РАСХОДА ТОПЛИВА

## Расчет нормы Сформировать отчет

Дата: 16.01.2017  Водитель: **Алексеев Петр Семенович** Регион: 59

**АВТОМОБИЛЬ**

Г/н: С388ТР159 Марка: БМ-534332 Двигатель: ЯМЗ-236 Кол-во баков: 12  
 Расход топлива: 88 Пробег: 178 Масса баков: 4960

**НАДБАВКА**

Д1 - надбавка при работе спецмашин в черте г  
 Д2 - надбавка на работу спецмашин в зимний п  
 Д3 - надбавка для автомобилей находящихся в  
 Д4 - надбавка при работе в городах с большой  
 Д5 - надбавка к общему расходу топлива на вы  
 перевозке технологического груза

Норма расхода в техн. режиме: 7,4  
 Коэффициент оптимизации: 0,92  
 Норма расхода за смену: 91,8  
 Причина перерасхода:

**ИМПОРТ ДАННЫХ** **РАСЧИТАТЬ НОРМУ** **СОХРАНИТЬ В ОТЧЕТ**


Информация:

Расход топлива в норме

а

## РАСЧЕТ НОРМЫ РАСХОДА ТОПЛИВА

## Расчет нормы Сформировать отчет

Дата: 14.01.2017  Водитель: **Иванов Игорь Викторович** Регион: 59

**АВТОМОБИЛЬ**

Г/н: А267НМ159 Марка: БМ-53229-1 Двигатель: КАМАЗ-740 Кол-во баков: 16  
 Расход топлива: 190 Пробег: 294 Масса баков: 7480

**НАДБАВКА**

Д1 - надбавка при работе спецмашин в черте г  
 Д2 - надбавка на работу спецмашин в зимний п  
 Д3 - надбавка для автомобилей находящихся в  
 Д4 - надбавка при работе в городах с большой  
 Д5 - надбавка к общему расходу топлива на вы  
 перевозке технологического груза

Норма расхода в техн. режиме: 36,9  
 Коэффициент оптимизации: 0,87  
 Норма расхода за смену: 179  
 Причина перерасхода: **Ошибка водителя**

**ИМПОРТ ДАННЫХ** **РАСЧИТАТЬ НОРМУ** **СОХРАНИТЬ В ОТЧЕТ**

Ошибка водителя  
 Неисправность базового шасси  
 Неисправность специального оборудования

Информация:

Перерасход топлива за смену

б

Рис. 1. Разработанное программное обеспечение для определения нормы расхода топлива мусоровоза за смену.

а – расход топлива в норме; б – фактический расход топлива превышает норму.

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 смену, 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 неисправностях элементов и систем автомобиля, приводящих к снижению топливной экономичности.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Представленная методика составлена на основе результатов научно-исследовательской работы.

При выполнении научно-исследовательской работы были получены зависимости и разработано программное обеспечение для определения нормы расхода топлива мусоровоза в зависимости от массы загружаемых отходов.

Таблица П.5.1 Годовой фонд работы мусоровоза

№	Показатель	Ед. изм.	Мусоровоз с задней загрузкой ТКО БМ-53229-1	
			по действующей методике	по предложенной методике
1	Время простоя машины по условиям работы, $t_c$	сут.	4	4
2	Выходные и праздничные дни, $t_{п}$	сут.	0	0
3	Продолжительность работы в течение суток, $P$	ч	12	12
4	Продолжительность простоя машины во время ТО и Р, $ПР_{ТОиР}$	ч	244,8	244,8
5	Продолжительность простоя во время ТО и Р на 1 ч работы машины, $t_{рем}$		0,06	0,06
6	Продолжительность пребывания машины при ТО1, $ПР_{ТО1}$	ч	4,8	4,8
7	Продолжительность пребывания машины при ТО2, $ПР_{ТО2}$	ч	24	24
8	Продолжительность пребывания машины при ТР, $ПР_{ТР}$	ч	168	168
9	Продолжительность пребывания машины при КР, $ПР_{КР}$	ч	456	456
10	Количество ТО1 в год, $n_{ТО1}$		6	6
11	Количество ТО2 в год, $n_{ТО2}$		1,5	1,5
12	Количество ТР в год, $n_{ТР}$		0,8	0,8
13	Количество КР в год, $n_{КР}$		0,1	0,1
14	Годовой фонд работы машины, $T$	маш-ч/год	3540,5	3540,5

## Приложение Е (продолжение)

Таблица П.5.2 Годовые эксплуатационные затраты на 1 мусоровоз

№	Показатель	Ед. изм.	Мусоровоз с задней загрузкой ТКО БМ-53229-1	
			по действующей методике	по предложенной методике
1	Количество водителей в явочном составе, $Ч_{яв}$	чел	2	2
2	Коэффициент замещения, $k_{зам}$		1,12	1,12
3	Средняя заработная плата, СЗ	руб	360000	360000
4	Отчисления на социальные нужды основного персонала, ОС	руб	169200	169200
5	Затраты на заработную плату основного персонала, $S_{зп}$	руб	975600	975600
6	Стоимость мусоровоза, С <sub>м</sub>	руб	4470000	4470000
7	Срок полезного использования, СПИ	лет	10	10
8	Амортизационные отчисления, $O_a$	руб	447000	447000
9	Количество ремонтных рабочих, $Ч_{то}$	чел	0,148	0,148
10	Отчисления на социальные нужды ремонтных рабочих, ОС	руб	27924	27924
11	Зарплата ремонтных рабочих, $S_{зп.р.}$	руб	59413	59413
12	Грузоподъемность мусоровоза, $q$	т	11	11
13	Коэффициент использования грузоподъемности, $y$		0,8	0,8
14	Число ездов мусоровоза за сутки, $z$		3	3
15	Провозная способность, ПС	т	9261,12	9261,12
16	Средний пробег мусоровоза за одну поездку, $l_{ср}$	км	97	97
17	Годовой грузооборот, ГО	т·км	898329	898329
18	Количество автомобиле-км, А	км	102083	102083
19	Норма расхода материалов и запасных частей на 1000 км, НРМ	руб	781,20	781,20

Продолжение таблицы П.5.2

20	Стоимость материалов и запасных частей, $C_{\text{то}}$	руб	79747,24	79747,24
21	Затраты на ТОиР, $S_{\text{ТОиР}}$	руб	139160,24	139160,24
22	Число колес мусоровоза, $n_{\text{ш}}$		10	10
23	Норма пробега шины, $L_{\text{ш}}$	км	75000	75000
24	Стоимость шины, $C_{\text{ш}}$	руб	8420	8420
25	Расходы на автомобильные шины, $S_{\text{ш}}$	руб	114605,18	114605,18
26	Линейная норма расхода топлива на 100 км пробега, $H_s$	л	36,3	36,3
27	Норма расхода топлива на 1 погрузку и разгрузку, $Q_1$	л	15,3	12,1
28	Надбавка на работу спецмашин в зимний период времени, $D_2$	%	10	10
29	Надбавка для автомобилей находящихся в длительной эксплуатации, $D_3$	%	5	5
30	Надбавка при работе в городах с большой плотностью населения, $D_4$	%	20	20
31	Надбавка к общему расходу топлива на выполнение транспортной работы, $D_5$	%	10	10
32	Надбавка за каждый цикл разгрузки, $D_6$	л	0,25	0,25
33	Суммарная относительная надбавка к расходу топлива в зимний период, $D$		1,35	1,35
34	Суммарная относительная надбавка к расходу топлива в летний период, $D$		1,25	1,25
35	Годовой расход топлива, $E_T$	л	69147	64783
36	Стоимость 1 л топлива, $C_1$	руб	36,5	36,5
37	Затраты на энергоносители, $S_3$	руб	2523865,50	2364579,50

Продолжение таблицы П.5.2

38	Коэффициент перехода от затрат на энергоноситель к затратам на смазочные материалы, $\epsilon$		0,2	0,2
39	Затраты на смазочные материалы, $S_c$	руб	504773,10	472915,90
40	Емкость гидросистемы, $V_r$	$m^3$	0,6	0,6
41	Объемная масса рабочей жидкости, $\gamma_m$	$кг/m^3$	880	880
42	Цена рабочей жидкости, $C_{mg}$	руб/кг	44	44
43	Коэффициент доливок жидкости в гидросистему, $k_{qg}$		1,5	1,5
44	Периодичность замены жидкости в гидросистеме, $t_{mg}$	маш-ч.	1200	1200
45	Затраты на рабочую жидкость, $S_r$	руб	102816	102816
46	Косвенные расходы, $S_k$	руб	631202	612087,70
47	Годовые эксплуатационные затраты	руб/г	4992022	4781764,50

Таблица П.5.3 Производительность мусоровоза

№	Показатель	Ед. изм.	Мусоровоз с задней загрузкой ТКО БМ-53229-1	
			по действующей методике	по предложенной методике
1	Объем кузова	м <sup>3</sup>	18	18
2	Коэффициент заполнения кузова, $k_3$		0,8	0,8
3	Коэффициент уплотнения отходов в кузове, $k_y$		5	5
4	Плотность отходов, $\rho_{отх}$	т/м <sup>3</sup>	0,12	0,12
5	Коэффициент использования мусоровоза на линии, $k_n$		0,8	0,8
6	Средняя продолжительность переездов, $t_{пер}$	мин	20	20
7	Средняя продолжительность маневрирования, $t_{ман}$	мин	5	5
8	Средняя продолжительность подготовительно-заключительных операций при погрузке, $t_{пз}$	мин	2	2
9	Средняя продолжительность подготовительно-заключительных операций при разгрузке, $t'_{пз}$	мин	2	2
10	Средняя продолжительность погрузки одного контейнера, $t_{погр}$	мин	0,5	0,5
11	Средняя продолжительность разгрузки мусоровоза, $t_{разгр}$	мин	2	2
12	Число загружаемых контейнеров за один цикл, $n$		20	20
13	Расстояние от места сбора до места утилизации	км	30	30
14	Средняя транспортная скорость	км/ч	30	30
15	Число заездов мусоровоза во дворы за один цикл		8	8
16	Производительность мусоровоза	т/ч	0,792	0,792
17	Годовая эксплуатационная производительность	т/г	2243	2243

