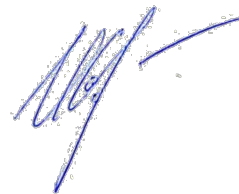


**На правах рукописи**



**КАРНАУХОВА ИННА ВЛАДИМИРОВНА**

**ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОВЫХ  
АВТОМОБИЛЕЙ ЗА СЧЕТ КОРРЕКТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ  
ВОЗДУХА НА ВХОДЕ В ДВИГАТЕЛЬ**

Специальность  
05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Тюмень – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень.

**Научный руководитель:**

**Захаров Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень.

**Официальные оппоненты:**

**Ерохов Виктор Иванович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Экологическая безопасность технических систем», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», г. Москва.

**Власов Юрий Алексеевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автомобили и тракторы», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск.

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург.

Защита диссертации состоится «6» июня 2018 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета ВАК РФ Д 212.250.02 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет» (СибАДИ) по адресу: 644080, г. Омск, проспект Мира, 5, аудитория 3124. Тел. (3812) 65-03-23, e-mail: [dissovetsibadi@bk.ru](mailto:dissovetsibadi@bk.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет» (СибАДИ) и на сайте университета по адресу: <https://sibadi.org/about/units/institut-magistratury-i-aspirantury/studies/dissertations/60268/>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направлять в диссертационный совет по адресу: 644080, г. Омск, проспект Мира, 5. Тел. (3812) 65-03-23, e-mail: [dissovetsibadi@bk.ru](mailto:dissovetsibadi@bk.ru).

Автореферат разослан «20» апреля 2018 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук



Кузнецова  
Виктория Николаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В современных экономических условиях проблема повышения эффективности эксплуатации автомобильного транспорта относится к числу особенно значимых, что подтверждается принятой Правительством РФ Транспортной стратегией на период до 2030 года.

Несмотря на высокую себестоимость автомобильного транспорта до 90% продукции перевозится именно с его помощью. Повысить эффективность эксплуатации автомобильного транспорта можно в результате уменьшения расходов на горюче-смазочные материалы, которые могут достигать 25...30% в структуре себестоимости транспортных услуг и имеют тенденцию к дальнейшему увеличению. С учетом постоянного роста цен на энергоносители становится очевидным приоритетное влияние энергетических ресурсов на себестоимость транспортных услуг.

Условия эксплуатации автомобилей, которые складываются из различных факторов внешней среды, оказывают значительное влияние на расход топлива. Учитывая, что значительная часть территории РФ относится к районам Крайнего Севера и местностям, приравненным к ним, следует отметить актуальность исследований, направленных на изучение факторов влияния внешней среды на расход топлива у автомобилей.

Проведенный анализ наиболее известных научно-исследовательских работ в области повышения топливной экономичности автотранспортных средств позволил сделать вывод о том, что в настоящее время сложились определенные теоретическая, методологическая и экспериментальная базы. Определено, что основным требованием, предъявляемым при эксплуатации автомобилей, является повышение эффективности не только за счет повышения результативности перевозок, снижения трудовых и материальных затрат, но и за счет экономии топливно-энергетических ресурсов. К методам ресурсосбережения следует отнести все мероприятия, позволяющие уменьшить расход топлива автомобилями при их эксплуатации. В технической литературе широко освещены частные случаи влияния факторов внешней среды на расход топлива автомобилей, например, влияние низких температур воздуха. Однако в них не в полной мере отражены вопросы топливной экономичности автомобилей с учетом совместного влияния температуры, давления, плотности и влажности воздуха, отсутствует концепция формирования расхода топлива с учетом подогрева и поддержания установившейся оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе. Актуальность и недостаточность разработанности этих проблем послужили основанием для проведения настоящего исследования.

Настоящее диссертационное исследование определяется требованиями паспорта научной специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта п. 19 – **Методы ресурсосбережения в автотранспортном комплексе.**

**Степень разработанности темы.** Исследования, посвященные топливной экономичности автомобилей, в разное время проводились в НАМИ, МАДИ, НИИАТе, ТИУ, СибАДИ, а также в других организациях и учреждениях нашей страны и за рубежом. Данному вопросу посвящены работы Н.Б. Островского,

М.Л. Минкина, Н.В. Семенова, Г.С. Лосавио, А.Н. Островцева, Д.П. Великанова, Е.А. Чудакова, З.И. Лейбзона, И.Ж. Шартуни, А.М. Шейнина, Г.В. Крамаренко, М.И. Лурье, А.М. Бородича, Н.Я. Говорущенко, Л.Г. Резника, В.И. Ерохова, Н.А. Кузьмина, В.Н. Карнаухова, Л.И. Виленского, Д.А. Захарова, Н.И. Веревкина, В.Н. Иванова, И.И. Курбановича, А.А. Токарева, Г.М. Ромалиса, И.М. Головиных, М.С. Высоцкого, А. И. Коваля, А.Э. Симеона, В.А. Зеера., А.В. Хомича, В.Ю. Гиттиса и др.

**Цель работы** – обеспечение ресурсосбережения в предприятиях, эксплуатирующих грузовой автотранспорт.

**Объект исследования** – процесс изменения расхода топлива грузового автомобиля в зависимости от параметров воздуха на входе в двигатель.

**Предмет исследования** – зависимости расхода топлива грузового автомобиля от параметров воздуха на входе в двигатель.

**Задачи исследования:**

1. Установить зависимость влияния температуры, давления, плотности и влажности воздуха на входе в двигатель на эксплуатационный расход топлива грузовых автомобилей.

2. Разработать математическую модель расхода топлива, учитывающую параметры воздуха, используемого двигателем автомобиля в процессе эксплуатации.

3. Разработать конструктивные технические решения для корректирования параметров воздуха на входе в двигатель в процессе эксплуатации автомобиля.

4. Провести экспериментальные исследования предлагаемых технических решений на автомобиле для установления зависимости расхода топлива от параметров входного воздуха.

5. Провести технико-экономическую оценку эффективности эксплуатации грузовых автомобилей, оснащенных системой корректирования параметров воздуха на входе в двигатель.

**Научная новизна диссертационной работы заключается:**

1. Установлена зависимость влияния температуры, давления, плотности и влажности воздуха на входе в двигатель на эксплуатационный расход топлива грузовых автомобилей.

2. Обоснован вид математической модели расхода топлива, учитывающей параметры воздуха, используемого автомобилем в процессе эксплуатации.

3. Предложено новое техническое решение, позволяющее поддерживать заданную температуру воздуха во впускном коллекторе.

4. Разработаны практические рекомендации применения технического устройства при эксплуатации грузовых автомобилей.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Обоснованы параметры технического устройства и предложена его конструкция. Для обеспечения работы предлагаемого технического устройства в режиме автоматики разработана и внедрена система корректирования параметров воздуха на входе в двигатель путем подключения его к штатной системе управления работы двигателем автомобиля через дополнительный контроллер.

На основе предложенной системы корректирования параметров воздуха на

входе в двигатель была разработана и адаптирована к умеренно холодным климатическим районам экспериментальная модель технического устройства, которая прошла испытания на Тюменской базе производственно-технического обслуживания и комплектации оборудованием АО «Транснефть–Сибирь» и там же принята к внедрению. Кроме того, разработки приняты к внедрению в ООО УАП «Европа+Азия» и ООО «Бердюжское автотранспортное предприятие».

Результаты практического использования показали экономию топлива до 16% от нормативного. На основании этого можно рекомендовать результаты данных исследований к применению на автомобилях с дизельными двигателями.

Результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» по направлениям 23.03.01 «Технология транспортных процессов» (бакалавриат) и 23.04.01 «Технология транспортных процессов» (магистратура).

**Методология и методы исследования.** Методологической и теоретической основой диссертационного исследования послужили труды отечественных и зарубежных специалистов в области эксплуатации автомобильного транспорта, проблем повышения его эффективности. В данной работе использован комплекс методов, который предусматривает проведение экспериментальных и теоретических исследований расхода топлива грузовыми автомобилями в зависимости от параметров окружающего воздуха в процессе эксплуатации. Методологической основой исследования является комплекс общенаучных (анализ, сравнение, обобщение) и специальных (системный анализ) методов, а его теоретической основой – теория технической эксплуатации автомобилей, теория вероятностей, математическая статистика. Экспериментальные исследования были проведены с помощью современного оборудования и контрольно-измерительных приборов. При обработке результатов исследования применялись современные статистические методы.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

Автор защищает совокупность научных положений, на базе которых установлена зависимость влияния температуры, давления, плотности и влажности воздуха на входе в двигатель на эксплуатационный расход топлива грузовых автомобилей; математическая модель расхода топлива, учитывающая параметры воздуха, используемого автомобилем в процессе эксплуатации; новое техническое решение, позволяющее поддерживать заданную температуру воздуха во впускном коллекторе; технико-экономические показатели применения системы корректирования параметров воздуха на входе в двигатель.

**Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций** диссертационного исследования подтверждается применением научных методов, отвечающих поставленной цели; адекватностью результатов теоретических и экспериментальных исследований; сформулированные положения, выводы и рекомендации обоснованы, аргументированы и подкреплены достаточным количеством наблюдений.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на XXXXIII Всероссийском симпозиуме по механике и процессам управления (г.Миасс, 2013), на Всероссийской научно-практической

конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы функционирования систем транспорта» (г.Тюмень, 2013), на Международной научно-практической конференции «Инновационное лидерство строительной и транспортной отрасли глазами молодых ученых» (г.Омск, 2014), на Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» (г.Тюмень, 2014), на VIII Всероссийской научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения» (г.Тюмень, 2015), на Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» (г.Тюмень, 2017).

**Публикации.** По теме исследования опубликовано 19 работ (в т.ч. 6 – в изданиях, рекомендованных ВАКом РФ, 1 – в издании, входящем в международную реферативную базу данных AGRIS). Патент на полезную модель электронагревательного элемента для подогрева воздуха на входе в двигатель внутреннего сгорания №152094 от 10.05.2015.

**Реализация результатов исследования.** Результаты исследования приняты для внедрения на Тюменской базе производственно-технического обслуживания и комплектации оборудованием АО «Транснефть–Сибирь», в ООО УАП «Европа+Азия» и ООО «Бердюжское автотранспортное предприятие». Результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 148 страниц текста, 21 таблица, 33 рисунка, 12 приложений и список литературы из 124 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая ценность работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен анализ литературных источников и дана оценка состояния вопроса влияния климатических условий на расход топлива автомобилей в процессе эксплуатации. Рассмотрен вопрос влияния температуры, давления, плотности и влажности воздуха во впускном коллекторе на смесеобразование и пределы воспламенения топливной смеси. Рассмотрены современные тенденции в области повышения топливной экономичности автотранспортных средств и снижения влияния факторов окружающей среды на расход топлив. Проанализированы существующие системы корректирования параметров воздуха на входе в двигатель.

Вопрос влияния отрицательных температур воздуха на топливную экономичность автомобилей в проанализированных работах рассмотрен без учета давления, плотности и влажности воздуха. В предыдущих работах отсутствует концепция формирования расхода топлива с учетом подогрева и поддержания установившейся оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе двигателей автомобилей.

В настоящий период повышение эффективности эксплуатации автомобилей достигается улучшением качества эксплуатационных масел, топлив и деталей, а также совершенствованием методов пуска двигателя в условиях низких температур окружающего воздуха. Для повышения эффективности использования автомобилей необходимо соблюдать системный подход к их конструкции и эксплуатации, то есть управлять реализуемым показателем эффективности.

По международным стандартам [International Standard Organization (ISO 3046-1:2002 (E) и ISO 15550:2002 (E)], стандартными эксплуатационными условиями при проектировании двигателей принято считать следующие параметры окружающей среды: барометрическое давление – 1 000 mbar (750 мм рт. ст.), температура окружающего воздуха – +25 °С, влажность воздуха – 30%.

В российской практике для сравнения удельных мощностей двигателей принято приводить замеренную мощность к так называемому нормальному состоянию атмосферы, характеризуемому величиной  $p_0=0,1013$  МПа (760 мм рт. ст.) и  $t_0=20$  °С.

Температура воздуха на входе в двигатель при использовании автомобилей не регламентируется, но, согласно ГОСТ Р 54810–2011 «Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний», при испытаниях автомобилей стандартной считается температура +20 °С.

Таким образом, как в отечественной, так и в международной практике все расчеты, связанные с мощностными и эксплуатационными показателями работы двигателей, проводятся при положительной температуре окружающего воздуха (+20...+25 °С) и нормальных барометрическом давлении и влажности.

Электронные системы управления двигателем, несмотря на сложность устройства, не учитывают индивидуальных особенностей автомобилей. При температуре окружающего воздуха -30 °С увеличение расхода топлив находится в пределах 10–30%. Это объясняется тем, что конструктивные особенности автомобилей обуславливают разную степень их систем обеспечивать номинальное значение потребления топлива при изменении температуры воздуха во впускном коллекторе.

В проанализированных работах подготовка двигателя к принятию нагрузки определяется временем предпускового подогрева, но при этом температура окружающего воздуха не учитывается.

Вопросам эффективного использования нагревателей посвящены труды НИИ, вузов, предприятий автомобильного транспорта и промышленности. В приведенных работах показано, что на интенсивность изменения температурного режима во впускном коллекторе оказывают влияние температура, давление, плотность и влажность наружного воздуха.

Известны разные способы корректирования параметров воздуха, но все они обладают следующими недостатками:

1. Необходимость изменения технологии изготовления, конструкции двигателей, что ведет к дополнительным затратам и изменениям в технологии их изготовления.

2. Затруднен ремонт нагревательных систем в случае выхода их из строя.

3. Нагревательные элементы, расположенные во впускном тракте, вызывают повышение гидродинамического сопротивления, что отрицательно сказывается на наполнении, экономичности и токсичности двигателей.

4. Используются только в предпусковом цикле.

5. В исследованиях, проведенных университетами Южной Калифорнии и Принстона (США), было установлено, что подогрев воздуха за счет отработанных газов менее эффективен, чем предварительный нагрев впускного воздуха.

**Вторая глава** посвящена аналитическим исследованиям. Представлены результаты теоретических исследований, направленных на изучение зависимости температуры воздуха во впускном коллекторе от параметров окружающего воздуха, разработана математическая модель расхода топлива, учитывающая параметры воздуха, используемого двигателем автомобиля в процессе эксплуатации.

В рамках проведенных аналитических исследований автором раскрыт механизм формирования расхода топлива в зависимости от параметров окружающего воздуха, таких как температура, давление и влажность, при эксплуатации грузового автомобиля. Выявленная зависимость представлена на графике рис. 1.

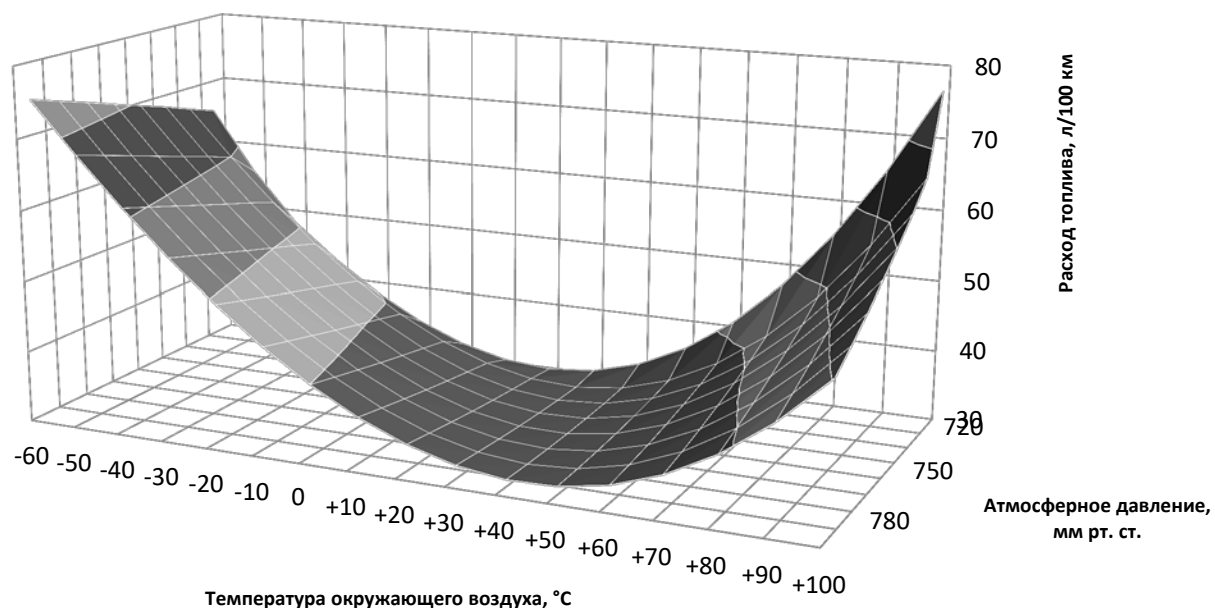


Рис. 1. Зависимость расхода топлива от параметров окружающего воздуха при влажности 60% (на примере автомобиля Урал-4420-10)

Для разработки математической модели расхода топлива от параметров воздуха на входе в двигатель использована зависимость расхода топлива автомобилей от температуры окружающего воздуха, установленная в исследованиях д.т.н., профессором Л.Г. Резником,

$$G_T = g_0 + S \cdot (t_e - t_0)^2, \quad (1)$$

где  $G_T$  – расход топлива от температуры окружающего воздуха, л/100 км;  $g_0$  – оптимальный расход топлива, л/100 км;  $S$  – параметр чувствительности расхода



топлива к изменению температуры воздуха, л·°C<sup>-2</sup>;  $t_e$  – температура окружающего воздуха, °C;  $t_0$  – оптимальная температура воздуха на входе в двигатель, при которой обеспечивается минимальный расход топлива, °C.

Аналитическим путем на основе уравнения Менделеева – Клапейрона была получена формула зависимости температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя с учетом влажности  $R_g$ , температуры  $T$  и давления  $P_{mp}$

$$T_{mp} = \frac{P_{mp} \cdot T}{273 \cdot \rho_0 \cdot R_g}, \quad (2)$$

где  $P_{mp}$  и  $T_{mp}$  – давление (Па) и температура (К) воздуха во впускном трубопроводе соответственно;  $\rho_0$  – плотность воздуха при 0°C, кг/м<sup>3</sup>;  $R_g$  – газовая постоянная воздуха (для сухого воздуха  $R_g=287$  Дж/кг·К, для воздуха с относительной влажностью 80%  $R_g=289$  Дж/кг·К).

Учитывая вышеизложенное, была получена математическая модель для расчета расхода топлива, учитывающая параметры воздуха, используемого двигателем автомобиля в процессе эксплуатации (с учетом перевода в °C)

$$G_T = g_0 + S \cdot \left( \left( \frac{T_{mp} \cdot P_{mp}}{273 \cdot \rho_0 \cdot R_g} - 273 \right) - t_0 \right)^2. \quad (3)$$

Целью исследования параметров воздуха перед пуском и во время работы двигателя является улучшение качества смесеобразования в камерах сгорания и снижение расхода топлива за счет поддержания основных параметров воздуха на оптимальном уровне его работы. То есть, если доводить параметры воздуха во впускном коллекторе автомобиля до оптимальных значений при любых погодных условиях и уровнях нагрузки на двигатель, то необязательно подавать в двигатель обогащенную смесь при пуске или при низких температурах.

Для расчета количества тепла, необходимого для подогрева воздуха, проходящего через впускной коллектор, применялась формула

$$Q = m \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1), \quad (4)$$

где  $m$  – массовый расход воздуха, кг/ч;  $C_p$  – массовая теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/кг·°C;  $t_2$  – оптимальная температура воздуха во впускном коллекторе, °C;  $t_1$  – температура окружающего воздуха, °C.

С учетом формулы (2) формула (4) примет вид

$$Q = m \cdot C_p \cdot \left[ t_2 - \left( \frac{T_{mp} \cdot P_{mp}}{273 \cdot \rho_0 \cdot R_g} - 273 \right) \right]. \quad (5)$$

Для расчета мощности электронагревательного элемента использовалась формула

$$N = \frac{Q}{\tau}, \quad (6)$$

где  $Q$  – количество тепла, затраченное на нагревание воздуха, Дж;  $N$  – мощность электронагревательного элемента, Вт;  $\tau$  – время, с.

Таким образом, формула для расчета необходимой мощности электронагревательного элемента с учетом параметров воздуха имеет следующий вид:

$$N = \frac{m \cdot C_p \cdot \left[ t_2 - \left( \frac{T_{mp} \cdot P_{mp}}{273 \cdot \rho_0 \cdot R_v} - 273 \right) \right]}{3600 \cdot \tau} \quad (7)$$

В результате аналитических исследований установлено, что диапазон температур воздуха на входе в дизельные двигатели, оптимальный по расходу топлива, находится в пределах от +40 до +70 °С (рис. 2).

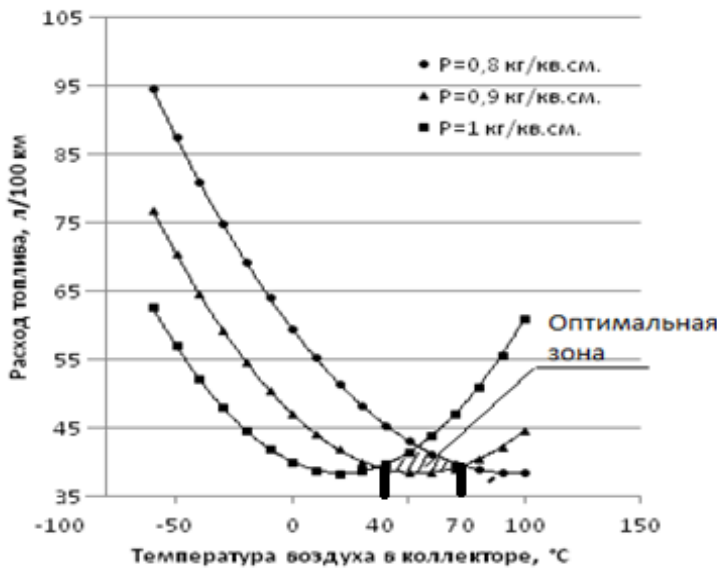


Рис.2. Оптимальная по расходу топлива температура воздуха на входе в дизельные двигатели ЯМЗ-236НЕ2

В третьей главе отражена общая методика диссертационного исследования, которая носит комплексный характер. Приводится описание плана экспериментальных исследований, включающего описание контрольно-измерительных приборов по замеру характеристик воздуха и системы погрешностей измерений. Экспериментальные исследования применялись для подтверждения адекватности математических моделей, а также для получения численных значений расчетных параметров. На первом этапе были проведены

эксплуатационные испытания на грузовых автомобилях с дизельными двигателями.

Была разработана методика измерения параметров воздуха на входе в двигатель. Исследования на топливную экономичность проводились при скоростях движения от 0 до 60 км/ч и температуре окружающего воздуха от -34 до +30 °С, атмосферном давлении от 730 до 780 мм рт. ст., также учитывалась влажность воздуха. Выбор указанных значений основан на результатах ранее проведенных работ, которые были систематизированы и изучены. Нижняя граница данного диапазона установлена с учетом минимальной температуры на входе в двигатель в наиболее холодный зимний период, что соответствует климатической зоне, в которой проводились экспериментальные исследования.

Расход топлива во время испытаний определялся с применением современного оборудования для диагностики двигателя автомобиля (автомобильный компьютер, переносной персональный компьютер, программное обеспечение, адаптер), а также электронной станции для определения температуры, давления, влажности воздуха в окружающей среде.

Грузовые автомобили, участвовавшие в проведении экспериментальных исследований, соответствовали обязательным требованиям, предъявляемым ГОСТ Р 54810–2011 «Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний» и ГОСТ Р 41.84-99 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения дорожных транспортных средств, оборудованных

двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения потребления топлива».

Согласно нормативно-технической документации приборов и исследуемых автомобилей погрешность определения расхода топлива составляет 1%. Данные экспериментов обрабатывались с помощью Microsoft Excel и др. Распределение экспериментальных данных подчиняется нормальному закону.

**Четвертая глава** посвящена описанию проведенных экспериментальных исследований. На основании анализа полученных результатов подтверждена адекватность математической модели определения расхода топлива, учитывающей параметры воздуха, используемого автомобилем в процессе эксплуатации. Предложено техническое решение, позволяющее корректировать параметры воздуха на входе в двигатель.

Экспериментальные исследования проводились на Тюменской базе производственно-технического обеспечения и комплектации оборудованием (ТБПТОиКО) АО «Транснефть–Сибирь». Исследования проводились на грузовых автомобилях КамАЗ-54115 с двигателем КамАЗ-740.13-260 и Урал-4420-10 с двигателем ЯМЗ-236НЕ2. Выбор автомобилей обусловлен их широким использованием. Расход топлива замерялся на маршруте Тюмень–Сургут (Каркатеево) общей протяженностью 790 км. С ТБПТОиКО АО «Транснефть – Сибирь» автомобили перевозили оборудование, а обратно возвращались порожними. Каждый автомобиль совершил от 23 до 25 рейсов.

В ходе экспериментов было установлено, что температура во впускном коллекторе на испытуемых автомобилях с дизельным двигателем с турбонаддувом при движении со скоростью 60 км/ч без нагрузки при температуре окружающего воздуха 0 °С составляет +15...+ 25 °С (рис. 3), что не достигает расчетных оптимальных значений.

Таким образом, анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований позволил сделать вывод о том, что при температуре окружающего воздуха ниже +10 °С температура воздуха в конце впуска с учетом теплообмена во впускном коллекторе ниже оптимальной.

Определены численные значения параметров математической модели расхода топлива, учитывающей параметры воздуха, используемого двигателем в процессе эксплуатации автомобиля (табл.1).

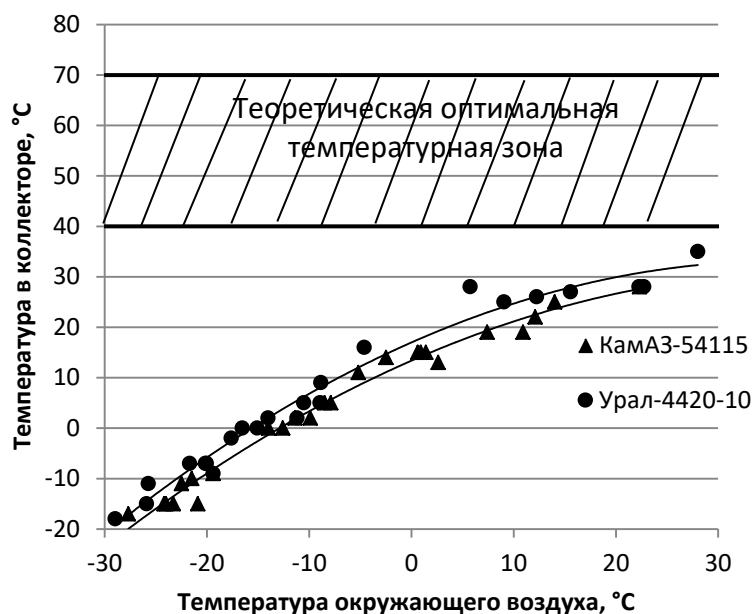


Рис. 3. Зависимость температуры воздуха во впускном коллекторе от температуры окружающего воздуха

**Математические модели расхода топлива, учитывающие параметры воздуха, используемого двигателем автомобиля в процессе эксплуатации**

Автомобиль		Математическая модель
КамАЗ-54115	Без груза	$G_T = 30,9 + 0,0027 \cdot \left( \left( \frac{T_{mp}}{273 \cdot \rho_0} \cdot \frac{P}{R_{\epsilon}} - 273 \right) - 22,3 \right)^2$
	С грузом 11,5 т	$G_T = 39,3 + 0,0036 \cdot \left( \left( \frac{T_{mp}}{273 \cdot \rho_0} \cdot \frac{P}{R_{\epsilon}} - 273 \right) - 17,4 \right)^2$
Урал-4420-10	Без груза	$G_T = 38,1 + 0,0038 \cdot \left( \left( \frac{T_{mp}}{273 \cdot \rho_0} \cdot \frac{P}{R_{\epsilon}} - 273 \right) - 15,6 \right)^2$
	С грузом 11,5 т	$G_T = 50,5 + 0,0044 \cdot \left( \left( \frac{T_{mp}}{273 \cdot \rho_0} \cdot \frac{P}{R_{\epsilon}} - 273 \right) - 21,2 \right)^2$

Экспериментальные исследования позволили подтвердить адекватность математической модели. Для сопоставления экспериментальных данных по эксплуатационному расходу топлива с прогнозируемыми значениями был применен критерий Фишера. Анализ показал, что экспериментальные данные и расчетные значения принадлежат одной генеральной совокупности и модель адекватна моделируемому процессу. Расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований составляет менее 5%.

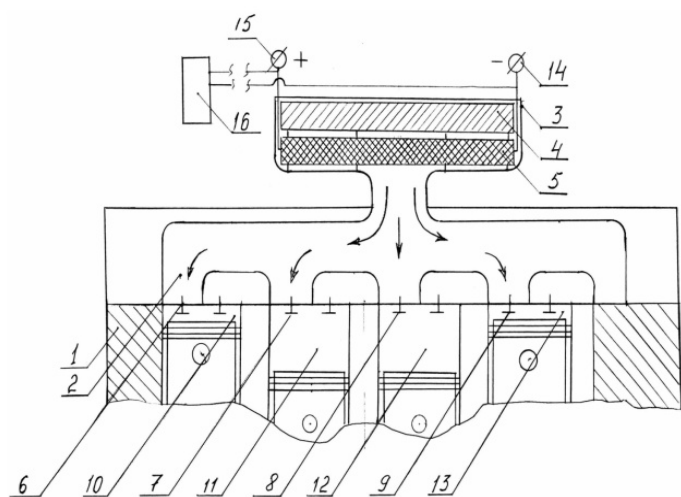


Рис. 4. Система впуска ДВС

Подогрев впускного заряда от электронагревателя более эффективен, чем от использования рециркуляции отработанных газов. Для реализации данного решения было предложено использовать следующее изобретение, подтвержденное патентом на полезную модель нагревательного элемента для подогрева воздуха на входе в двигатель внутреннего сгорания от 10.05.2015г. № 152094. Сущность изобретения заключается в том, что в известной системе впуска двигателя внутреннего сгорания, содержащей впускную трубу, один конец которой подключен к воздухоочистителю, а другой – к впускным патрубкам блока двигателя, в воздушном фильтре устанавливается графитный электронагревательный элемент с регулируемой мощностью и функционально запитанный от бортового источника электроснабжения (рис. 4).

Система впуска двигателя внутреннего сгорания 1 содержит впускную трубу (коллектор) 2, один конец которой подключен к воздухоочистителю 3, а другой – через впускные патрубки 6, 7, 8, 9 впускной трубы 2 соединен с цилиндрами 10, 11, 12, 13 двигателя 1 и смонтированного в воздушном фильтре 4 электронагревательного элемента 5, функционально запитанного от бортового источника электроснабжения (аккумуляторной батареи) автомобиля. Электронагревательный элемент 5 выполнен в виде прямоугольника, если фильтр прямоугольной формы, или в виде полого цилиндра (рис. 5), если воздушный фильтр имеет круглую форму, к которому подключены контактные клеммы 15 (+) и 14 (-) аккумулятора.

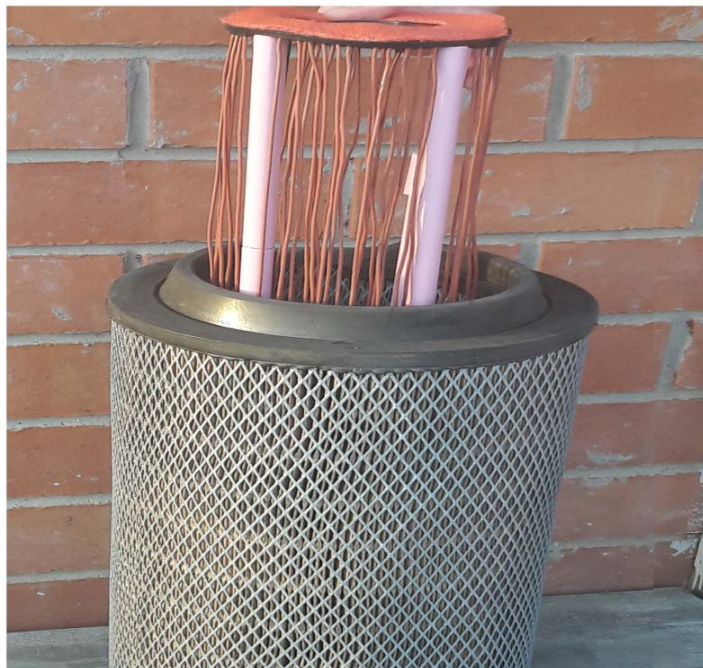


Рис. 5. Экспериментальный образец нагревательного элемента для автомобиля УРАЛ-4420-10

Для обеспечения работы технического устройства в режиме автоматики предложена и внедрена система корректирования путем подключения его к штатной системе управления работой двигателем автомобиля через дополнительный контроллер.

Во время аналитических изысканий на основе формулы (7) была определена мощность электронагревательного элемента в зависимости от температуры и давления во впускном коллекторе для грузовых автомобилей при изменении расхода воздуха, которая представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Теоретическая расчетная мощность электронагревательного элемента в зависимости от параметров воздуха во впускном коллекторе при расходе воздуха более 100 кг/ч, кВт**

Температура воздуха во впускном коллекторе, °С	Давление, кг/см <sup>2</sup>							
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
-20	3,4	3,7	3,8	3,7	3,4	2,8	2,5	2,1
-10	3,2	3,5	3,5	3,4	3,0	2,4	2,0	1,6
0	3,0	3,3	3,3	3,0	2,6	2,0	1,6	1,1
+10	2,9	3,0	3,0	2,8	2,3	1,6	1,2	0,7
+20	2,7	2,8	2,8	2,5	2,0	1,3	0,8	0,3
+30	2,6	2,7	2,6	2,2	1,7	0,9	0,5	–
+40	2,4	2,5	2,3	2,0	1,4	0,6	0,1	–

При проведении испытаний был применен нагревательный элемента мощностью 1275 Вт, что обусловлено конструктивными и теоретическими исследованиями. Данная мощность была выбрана на основании расчетов, сделанных автором, и общей систематизации работ по изучению температуры воздуха во впускном коллекторе двигателей различных автомобилей. На основании данных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что при температуре окружающего воздуха  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (это обусловлено средней температурой самого сурового месяца зимы полосы проводимых испытаний) температура воздуха во впускном коллекторе работающего со средней нагрузкой дизельного двигателя имеет значение около  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для работы системы корректирования параметров воздуха на входе в двигатель на исследуемые автомобили были установлены генераторы повышенной мощности 2,4 кВт. Увеличение отбора мощности новым генератором (на 1,1 кВт) влияет на увеличение потребления топлива порядка  $0,067\%$  г/кВт ч, при скорости 60 км/ч. Данный показатель при полученной экономии топлива в 10–15% согласно погрешностям распределения Фишера можно не учитывать. Следует отметить, что на машины последних поколений производитель устанавливает генераторы мощностью 3кВт в штатной комплектации.

В результате проведенных испытаний была получена следующая диаграмма (рис. 6), показывающая изменение температуры воздуха во впускном коллекторе автомобиля в реальных условиях эксплуатации с работающим электронагревательным элементом.

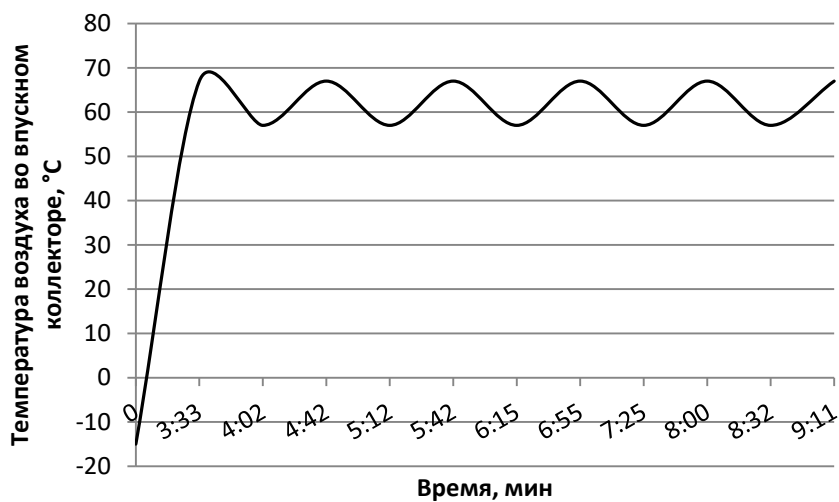


Рис. 6. Экспериментальная диаграмма режима работы электронагревательного элемента

Анализ графиков (рис. 7) показал, что при увеличении отклонения температуры окружающего воздуха от оптимального значения (для испытуемых автомобилей данный диапазон составляет  $+5...+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) расход топлива растет прогрессивно. При поддержании эффективных параметров воздуха во впускном коллекторе расход топлива при понижении температуры увеличивается в меньшей степени.

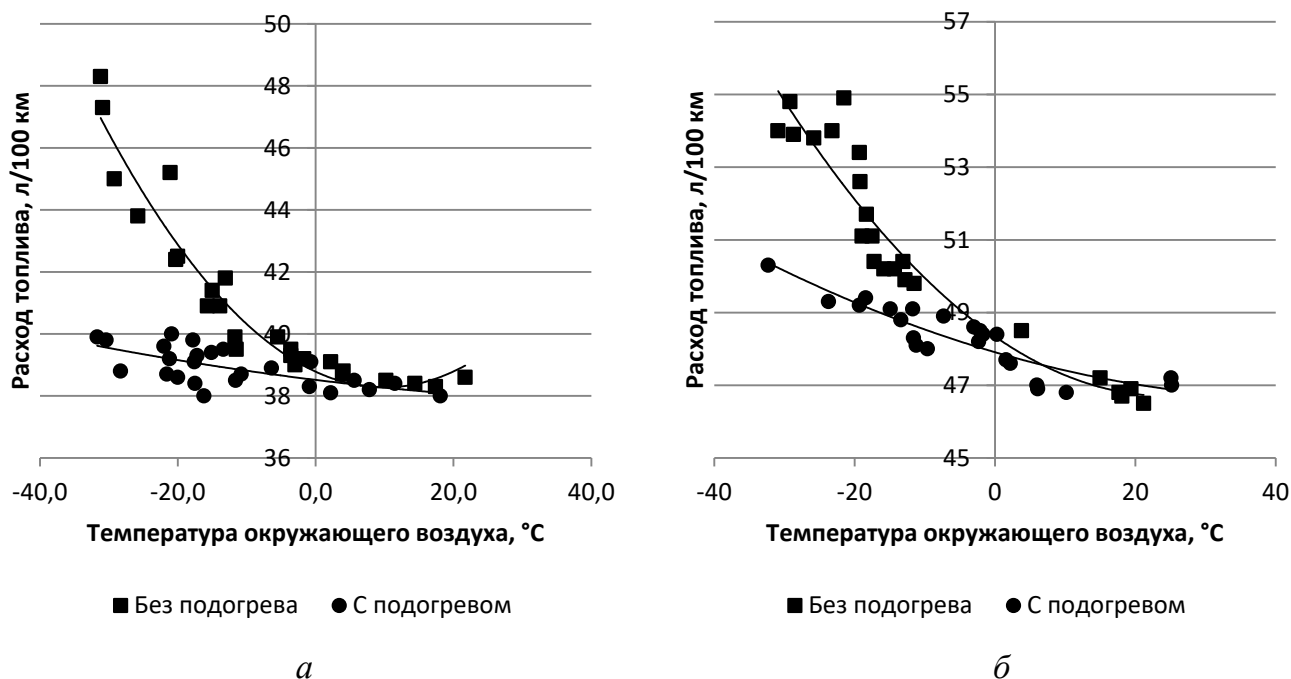


Рисунок 7 – Зависимость расхода топлива автомобилей от температуры окружающего воздуха с применением подогрева и без подогрева:  
*a* – КамАЗ-54115 и *б* – Урал-4420-10

На основании разработанной математической модели (формула (7)) произведен расчет мощности нагревательного элемента времени подогрева в зависимости от температуры окружающего воздуха. Исходя из формулы (6) возможно определить рациональное время прогрева воздуха и мощность электронагревательного элемента с целью оптимального расхода топлива.

**В пятой главе** приведены пути практического применения результатов исследования, проведена оценка эффективности эксплуатации автомобилей на основе технико-экономических показателей применения системы корректирования параметров воздуха на входе в двигатель.

При использовании результатов исследования обеспечение ресурсосбережения в предприятиях, эксплуатирующих грузовой автотранспорт, формируется за счет снижения расхода топлива при поддержании эффективных параметров работы двигателя, что в свою очередь ведет к минимизации затрат, связанных с приобретением топлива.

Затраты на оборудование одного автомобиля системой корректирования параметров воздуха на входе в двигатель составляют 32,4 тыс. руб. При этом экономия топлива в сравнении с действующими нормами расхода в зимний период эксплуатации для автомобиля КамАЗ-54115 составила 8 л/100 км, или 16,5%, для автомобиля Урал-4420-10 – 6 л/100 км, или 11%, в летний период – 2 л/100 км, или 5,5%, и 0,4 л/100 км, или 0,8%, соответственно. Годовой экономический эффект при эксплуатации автомобилей, оснащенных системой корректирования параметров воздуха на входе в двигатель, для одного автомобиля марки КамАЗ-54115 составил 116,8 тыс. руб., а марки Урал-4420-10 73 тыс. руб. при средней цене на дизельное топливо в Российской Федерации в 2018 г. 40 руб./л. При этом срок окупаемости

дополнительных капитальных вложений составил 2,8 мес. для автомобиля КамАЗ-54115 и 4,4 мес. – для Урал-4420-10.

Проведенный расчет экономической эффективности показал целесообразность применения системы корректирования параметров воздуха на входе в двигатель.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Установлена зависимость влияния температуры, давления, плотности и влажности воздуха на входе в двигатель на эксплуатационный расход топлива грузовых автомобилей.

2. Разработана математическая модель расхода топлива, учитывающая параметры воздуха, используемого автомобилем в процессе эксплуатации, определены численные значения входящих в нее параметров. Анализ адекватности по критерию Фишера показал, что экспериментальные данные и расчетные значения принадлежат одной генеральной совокупности и модель адекватна моделируемому процессу с достоверностью 95%.

3. Разработано конструктивное техническое решение для корректирования параметров воздуха на входе в двигатель, и получен патент на полезную модель данного устройства № 152094 от 10.05.2015г. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что при поддержании параметров воздуха на входе в двигатель в пределах от +40 до +70 °С расход топлива сокращается. Для обеспечения работы предлагаемого технического устройства в режиме автоматики предложена и внедрена система корректирования параметров воздуха на входе в двигатель путем подключения его к штатной системе управления работой двигателем автомобиля через дополнительный контроллер.

4. Проведены экспериментальные исследования, в ходе которых подтверждена работоспособность предложенного инженерного решения на автомобилях КамАЗ-54115 и Урал-4420-10 в диапазоне температур окружающего воздуха -30...+20 °С. При этом экономия топлива в сравнении с действующими нормами расхода в зимний период эксплуатации для автомобиля КамАЗ-54115 составила 8 л/100 км, или 16,5%, для Урал-4420-10 – 6 л/100 км, или 11%, в летний период – 2 л/100 км, или 5,5%, и 0,4 л/100 км, или 0,8%, соответственно.

5. Результаты исследований приняты к внедрению на Тюменской базе производственно-технического обслуживания и комплектации оборудованием АО «Транснефть–Сибирь», ООО УАП «Европа+Азия» и ООО «Бердюжское автотранспортное предприятие». Применение системы корректирования параметров воздуха на входе в двигатель внутреннего сгорания обеспечивает ресурсосбережение предприятия при эксплуатации одного автомобиля марки КамАЗ-54115 до 116,8 тыс. руб., для Урал-4420-10 – до 73 тыс. руб.

Направления и перспективы дальнейших исследований: применение разработанной концепции ресурсосбережения, изложенной в исследованиях; усовершенствование технических мер по улучшению ресурсосбережения при эксплуатации автотранспорта в различных природно-климатических условиях; разработка методики определения норм расхода топлива при эксплуатации



автомобилей, оборудованных системой корректирования параметров воздуха на входе в двигатель.

### **ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:**

**- в рецензируемых научных изданиях из «Перечня...» ВАК:**

1. Карнаухова, И.В. Определение оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя / И.В. Карнаухова // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2014. – № 3 (37). – С. 7–12.

2. Захаров, Д.А. Расчет топливной экономичности автомобилей при низких температурах / Д.А. Захаров, И.В. Карнаухова, В.Н. Карнаухов // Транспорт Урала. – 2014. – № 4 (43). – С. 93–95.

3. Карнаухов, В.Н. Топливная экономичность двигателей внутреннего сгорания / В.Н. Карнаухов, И.В. Карнаухова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 6 (89). – С. 142–147.

4. Карнаухова, И.В. Влияние водяных паров на топливную экономичность двигателей внутреннего сгорания / И.В. Карнаухова, В.Н. Карнаухов, Д.А. Захаров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 3. – С. 151–153.

5. Карнаухова, И.В. Влияние диссоциации воды на расход топлива в двигателях внутреннего сгорания / И.В. Карнаухова, В.Н. Карнаухов, Д.А. Захаров // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 352–358.

6. Карнаухова, И.В. Влияние коэффициента наполнения на расход топлива бензиновыми двигателями внутреннего сгорания в зависимости от температуры и давления воздуха во впускном коллекторе / И.В. Карнаухова, О.В. Карнаухов, В.Н. Карнаухов, Д.А. Захаров // Научное обозрение. – 2016. – №2. – С. 74–78 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/article/view?id=19120> (дата обращения: 25.05.2016)

**- в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования:**

7. Карнаухова, И.В. Влияние коэффициента наполнения на расход топлива ДВС в зависимости от температуры и давления воздуха на входе в дизельных двигателях / В.Н. Карнаухов, Д.А. Захаров, О.В. Карнаухов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. – 2016. – №1. – С. 66–70.

**- в других изданиях:**

8. Карнаухова, И.В. Влияние температуры воздуха и барометрического давления на расход топлива и мощность двигателей / И.В. Карнаухова // Новые технологии – нефтегазовому региону : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. – Т. 1. – С. 204–206.

9. Карнаухова, И.В. Определение интервала температур подогрева воздуха во впускном коллекторе в зависимости от его плотности и давления / И.В. Карнаухова // Материалы XXXXIII Всероссийского симпозиума по механике и процессам управления. – М. : РАН, 2013. – С. 149–153.

10. Карнаухова, И.В. Поиск оптимальной температуры воздуха на входе по расходу топлива для ДВС / И.В. Карнаухова // Организация и безопасность дорожного движения : материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. – С. 79–83.

11. Карнаухова, И.В. Определение массового расхода воздуха на автомобилях при

низких температурах воздуха и давлении / И.В. Карнаухова // Нефть и газ Западной Сибири : материалы Международной научно-технической конференции.– Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. – Т. 4. – С. 160–164.

12. Карнаухова, И.В. Определение минимальной температуры прогрева воздуха для бензиновых ДВС / И.В. Карнаухова // Инновационное лидерство строительной и транспортной отрасли глазами молодых ученых : материалы Международной научно-практической конференции. – Омск : СибАДИ, 2014. – С. 125–126.

13. Карнаухова, И.В. Определение верхнего интервала разогрева воздуха во впускном коллекторе для дизельных ДВС / И.В. Карнаухова // Инновационное лидерство строительной и транспортной отрасли глазами молодых ученых : материалы Международной научно-практической конференции. – Омск : СибАДИ, 2014. – С. 126–127.

14. Карнаухов, В.Н. Влияние содержания влаги в воздухе на работу ДВС / В.Н. Карнаухов, И.В. Карнаухова // Организация и безопасность дорожного движения : материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2014. – С. 99–101.

15. Карнаухов, В.Н. Определение коэффициента наполнения в ДВС / В.Н. Карнаухов, И.В. Карнаухова // Транспортные и транспортно-технологические системы : материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2014. – С. 72–75.

16. Карнаухова, И.В. Определение содержания кислорода во впускном коллекторе ДВС с помощью систем электронного управления / И.В. Карнаухова // Транспортные и транспортно-технологические системы : материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2014. – С. 75–79.

17. Карнаухов, В.Н. Определение оптимального расхода топлива для двигателей / В.Н. Карнаухов, И.В. Карнаухова // Проектирование и управление автомобильными дорогами: Реформирование учебных программ в Российской Федерации. Разработка и внедрение магистерских программ в России : материалы Международной научно-практической конференции. – Оренбург : ОГУ, 2014. – С. 73–76.

18. Карнаухов, В.Н. Параметры, влияющие на пуск ДВС при низких температурах окружающего воздуха / В.Н. Карнаухов, И.В. Карнаухова // Проблемы функционирования систем транспорта : материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием). – Тюмень : ТюмГНГУ, 2014. – С. 238–241.

- **патенты, авторские свидетельства, свидетельства о регистрации программ ЭВМ и т.п.**

19. Пат. 152094 Российская Федерация, МПК F 02 М 35/02 (2006.01), F 02 М 31/13 (2006.01), F 02 N 19/00 (2010.01) Система впуска двигателя внутреннего сгорания / Карнаухова И.В.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет» (ТюмГНГУ). – №2013134913/06 ; заявл. 23.07.2013 ; опубл. 10.05.2015, Бюл. №13 – 2с. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www1.fips.ru/fips\\_serv1/fips\\_servlet](http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet) (дата обращения: 21.06.2015).