

629.4.084.3
С 451

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

УДК 502.55 : 629.4.084.3

СКРЕЖЕНДЕВСКИЙ Виктор Владимирович

**УМЕНЬШЕНИЕ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ГРУЗОВЫХ
ТЕПЛОВОЗОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

**05.22.07 — Подвижной состав железных дорог, тяга поездов
и электрификация**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Гомель 2005

Работа выполнена на кафедре "Тепловозы и тепловые двигатели" Белорусского государственного университета транспорта.

Научный руководитель — кандидат технических наук, профессор кафедры «Тепловозы и тепловые двигатели» Белорусского государственного университета транспорта **Вячеслав Михайлович ОВЧИННИКОВ**

Официальные оппоненты:

— доктор технических наук, профессор, заведующий отделом автономного тягового подвижного состава Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта **Евгений Евгеньевич Коссов;**

— кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник РУП «Белорусский научно-исследовательский проектный институт энергетической промышленности» **Илья Исаакович Кальтман.**

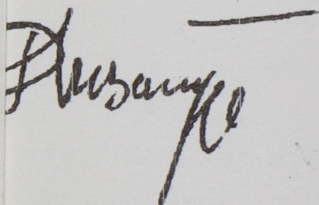
Оппонирующая организация — Конструкторско-технический центр Белорусской железной дороги

Защита состоится "31" марта 2005 г. в 15⁰⁰ час. на заседании специализированного совета по защите диссертаций Д 02.27.01 при Белорусском государственном университете транспорта по адресу: 246653, г. Гомель, ул. Дзержинского, 34, ауд. 248.

в библиотеке Белорусского государ-

05 г.

лярах, заверенные печатью, просим
та.



Р.К. ГИЗАТУЛЛИ

629.4.084.3
С 451

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Большая часть Белорусской железной дороги не электрифицирована, поэтому основным тяговым подвижным составом являются тепловозы — локомотивы с дизелем в качестве силовой установки. В ближайшее время не предвидится существенного изменения в структуре парка тягового подвижного состава. Отработавшие газы тепловозных дизелей создают угрозу здоровью людей, по тем или иным причинам находящихся в непосредственной близости от железнодорожных путей, по которым осуществляется движение. Так же подвергается опасности здоровье жителей населенных пунктов, в которых расположены железнодорожные узлы. В связи с этим представляют интерес экологические характеристики тепловозов и влияние отработавших газов тепловозов на окружающую среду. Как в странах СНГ, так и в странах дальнего зарубежья ведутся интенсивные исследования в области уменьшения влияния отработавших газов дизелей, в том числе и тепловозных, на здоровье людей. Это достигается различными способами: использованием альтернативных видов топлива, присадок к топливу, изменением конструкции самого дизеля, применением нейтрализаторов, различными способами улучшения рассеивания отработавших газов в атмосфере, запрещением использования транспортных средств с дизельной силовой установкой в черте городов, электрификацией городского и железнодорожного транспорта. На Белорусской железной дороге эксплуатируются тепловозы, спроектированные и выпущенные в те годы, когда вопросам экологии уделялось недостаточное внимание, поэтому их характеристики оптимизированы прежде всего с точки зрения топливной экономичности, надежности, определенного срока и вида службы. Поэтому актуальной задачей является выяснение реальных масштабов загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами тепловозных дизелей и определения способов снижения экологической нагрузки на окружающую среду со стороны тягового подвижного состава.

Связь с научными темами. Работа выполнялась в рамках НИР "Исследование состава отработавших газов тепловозов Белорусской железной дороги", 1998 г., №ГР199981449; "Разработка математической модели экологических характеристик дизельного двигателя как источника загрязнения атмосферного воздуха", 1998 г., №ГР19981441; «Исследование способов уменьшения токсичности отработавших газов дизелей тепловозов», 2000 г., №ХДТ2220 (заказчик – Министерство образования Республики Беларусь); «Разработка отраслевых стандартов на выбросы вредных веществ для подвижного состава Белорусской железной дороги», 1999 г., №ГР19991279; «Определение эффективности газоочистного устройства для пункта реостатных испытаний тепловозов», 1999 г., №ХДТ2157; «Измерение состава отработавших газов тепловозов с целью определения технического состояния дизелей и выдача рекомендаций по их дальнейшей эксплуатации», 2001 г., №ГР20012957; «Исследование изменения вредных выбросов в атмосферу при внедрении технических решений, повышающих топливную экономичность

тепловозных дизелей, и разработка методики проведения экологической экспертизы этих решений», 2002 г., №ГР20013311 (заказчик – Белорусская железная дорога).

Цель и задачи исследования. Целью исследования является разработка методов уменьшения вредного воздействия отработавших газов грузовых тепловозов на окружающую среду.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- исследовать количественный состав отработавших газов грузовых тепловозов;
- обосновать параметры для оценки глобального и локального загрязнения атмосферы отработавшими газами тепловозов;
- исследовать загрязнение окружающей среды при различных режимах работы тепловозного дизеля и различных режимах движения тепловоза. Определить наиболее опасный режим для загрязнения окружающей среды;
- исследовать влияние эксплуатационных факторов на загрязнение окружающей среды отработавшими газами тепловозов;
- предложить мероприятия для снижения загрязнения окружающей среды вредными веществами, содержащимися в отработавших газах тепловозов.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются грузовые тепловозы с электрической передачей. Предметом исследования являются состав отработавших газов тепловозного дизеля и снижение вредного воздействия на окружающую среду отработавших газов тепловозного дизеля.

Гипотеза. В результате исследования влияния эксплуатационных факторов и режимов работы тепловозного дизеля на загрязнение окружающей среды можно разработать предложения по снижению этого загрязнения.

Методология и методы проведенного исследования. Для достижения поставленной цели использованы экспериментальные и теоретические методы исследования. Исследование количественного состава отработавших газов тепловозов осуществлялось экспериментальным методом, результаты экспериментов обрабатывались методами математической статистики. Для исследования влияния эксплуатационных факторов на загрязнение атмосферы использовались теоретические методы и математическое моделирование.

Научная новизна и значимость полученных результатов заключается в следующем:

- сформулирован вероятностный подход к оценке загрязнения атмосферы отработавшими газами тепловозных дизелей;
- доказана необходимость применения методов математической статистики для исследования загрязнения атмосферы отработавшими газами грузовых тепловозов;
- впервые сформулирована зависимость между загрязнением окружающей среды отработавшими газами тепловозов и эксплуатационными факторами;
- впервые получена математическая модель, устанавливающая связь между эксплуатационными факторами и загрязнением окружающей среды отработавшими газами тепловозов;

- усовершенствована методика расчета коэффициентов эмиссии вредных веществ с отработавшими газами тепловозов;
- предложена методика сравнения (оценки) экологической опасности тепловозов различных серий.

Практическая значимость полученных результатов.

Предложена методика расчета коэффициентов эмиссии вредных веществ с отработавшими газами тепловозов, позволяющая повысить точность расчета от 20 до 50 % (в зависимости от позиции контроллера машиниста) и снизить трудоемкость проведения экспериментальных исследований состава отработавших газов тепловозов на 47 %. Применение этой методики сделало возможным проведение экологических испытаний тепловозов в условиях локомотивных депо при реостатных испытаниях.

В результате анализа режимов работы тепловозного дизеля был определен наиболее опасный режим с точки зрения загрязнения приземного слоя воздуха – реостатные испытания и предложено устройство, использующее имеющиеся на тепловозе ресурсы для снижения концентраций вредных веществ в приземном слое воздуха в 3—5 раз.

При помощи разработанной математической модели загрязнения атмосферы можно осуществлять обоснованный выбор серии локомотива, параметров состава, графика движения, обеспечивающих минимальное загрязнение окружающей среды отработавшими газами тепловозов.

Практические результаты могут быть использованы локомотивными депо Белорусской железной дороги и организациями, разрабатывающими природоохранную документацию для объектов железнодорожного транспорта.

Основные положения, выносимые на защиту:

- методика расчета удельных выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами тепловозного дизеля, благодаря которой повышается точность расчета и упрощается проведение экспериментальных исследований;
- математическая модель, устанавливающая связь между эксплуатационными факторами и загрязнением окружающей среды отработавшими газами тепловозов;
- устройство улучшения рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе при проведении реостатных испытаний тепловозов, благодаря которому достигаются приземные концентрации токсичных веществ меньше предельно допустимой концентрации (ПДК);
- методика сравнения (оценки) экологической опасности тепловозов различных серий.

Личный вклад соискателя. Выполнены лично соискателем: разработка лабораторного стенда для проведения экологических испытаний дизельного двигателя, теоретическая подготовка экспериментальных исследований, лабораторные исследования и анализ полученных результатов. Монтаж оборудования лабораторного стенда и экспериментальные исследования в условиях локомотивного депо проводились в составе группы сотрудников

научно-исследовательского центра экологической безопасности и энергосбережения на транспорте Белорусского государственного университета транспорта. Расчет рассеивания выполнен с участием В.А. Халиманчика. Математическая модель загрязнения атмосферы разработана с участием С.Я. Френкеля.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на:

- научно-практической конференции "Экологическая безопасность транспортных магистралей" Москва, 13 – 16 апр. 1998 г., МИИТ;
- научно-практической конференции "Экология и молодёжь. Исследования экосистем в условиях радиоактивного и техногенного загрязнения окружающей среды". Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины, 1998;
- научно-технической конференции МOТАUТО'98 София, 14 – 16 Окт. 1998;
- научно-технической конференции "Актуальные проблемы развития транспортных систем". Гомель, 1 – 2 окт. 1998 г. / БелГУТ;
- научно-технической конференции "Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта и роль молодых ученых в их решении". Ростов-на-Дону, 24-25 ноября 1998;
- научно-практической конференции «Экологическая безопасность транспортных магистралей». Москва, 7 – 9 апр. 1999 г. МИИТ;
- заседании УМК по специальности «Локомотивы» Учебно-методического объединения по образованию в области железнодорожного транспорта и транспортного строительства (УМО-ж.д.) Министерства путей сообщения Российской Федерации, апрель 1999 г. ЛИИЖТ;
- научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». Москва, 20 – 22 окт. 1999 г., МИИТ;
- научно-практической конференции «Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка». Могилев, 18 – 19 мая 2000 г., ММИ;
- заседании УМК по специальности «Локомотивы» Учебно-методического объединения по образованию в области железнодорожного транспорта и транспортного строительства (УМО-ж.д.) Министерства путей сообщения Российской Федерации, 22 мая 2001 г. БелГУТ;
- международной научно-практической конференции «Охрана окружающей среды на транспорте и в промышленности». Гомель, 20 – 21 сен. 2001 г., БелГУТ;
- выставке-ярмарке железнодорожного транспорта «ЭКСПОЖД-2001», ВВЦ. Москва, июль 2001 г.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 20 печатных работ, из них, 3 статьи в журнале, 5 статей в сборниках научных трудов и 12 тезисов докладов. Общее количество опубликованных материалов составляет 39 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка

литературы, включающего 93 наименования, и приложений. Работа содержит 155 страниц текста, 29 рисунков, 15 таблиц, 8 приложений на 45 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируется цель исследования.

В первой главе диссертационной работы приведен анализ современного состояния проблемы снижения токсичности отработавших газов и анализа состава отработавших газов тепловозных дизелей. При этом отмечена дороговизна устройств для снижения токсичности отработавших газов, небольшой ресурс, непомерно большие габариты, сложность обслуживания, необходимость утилизации уловленных вредных веществ.

Показано, что в различных литературных источниках рассматриваются различные подходы к оценке экологической опасности отработавших газов тепловозных дизелей, используются различные единицы измерений и методики, не всегда оговорены условия проведения измерений, поэтому сложно сопоставлять результаты и, в некоторых случаях, приведенные результаты нельзя использовать для оценки локального и (или) глобального загрязнения атмосферного воздуха. Существующая методика измерения удельных выбросов в атмосферу является трудоемкой и практически не применимой в условиях эксплуатации.

На основании этого были сформулированы задачи, решение которых позволит достичь поставленной цели.

Во второй главе предложена усовершенствованная методика оценки токсичности отработавших газов тепловозных дизелей, позволяющая снизить трудоемкость измерения и упростить расчеты удельных показателей токсичности отработавших газов. При использовании этой методики для расчета коэффициентов эмиссии (массы вредного вещества, приходящейся на единицу массы дизельного топлива) достаточно знать концентрации свободного кислорода в отработавших газах и токсичных компонентов. Для расчета массы вредного вещества, приходящейся на единицу работы, совершенной дизелем, необходимо дополнительно измерить удельный расход топлива. Методика основана на следующих допущениях: сухие отработавшие газы дизельного двигателя состоят только из диоксида углерода, азота и избыточного кислорода, отработавшие газы подчиняются законам идеального газа, дизельное топливо состоит только из углерода и водорода, известен элементарный состав топлива и воздуха, поступающих в камеру сгорания дизеля.

Объем сухих отработавших газов, приведенных к нормальным условиям ($t = 0^\circ\text{C}$, $p = 101359 \text{ Па}$) образующихся при сгорании 1 кг топлива $\text{м}^3/\text{кг}$, найдем по формуле

$$Q = \frac{0.77L_0\alpha}{1.25} + \frac{0.23L_0(\alpha - 1)}{1.43} + \frac{k_{CO_2}}{1.96}, \quad (1)$$

где L_0 – стехиометрическое количество воздуха для сгорания 1 кг дизельного топлива, $L_0 = 14,5$ кг/кг;

α – суммарный коэффициент избытка воздуха;

k_{CO_2} – коэффициент эмиссии диоксида углерода, $k_{CO_2} = 3,19$ кг/кг.

Суммарный коэффициент избытка воздуха рассчитаем по формуле, выведенной для дизельного топлива

$$\alpha = \frac{32,5 O_2 - 105}{500 O_2 - 105}, \quad (2)$$

где O_2 – концентрация свободного кислорода в отработавших газах, объемная доля.

При помощи известного объема отработавших газов, приходящихся на 1 кг топлива и концентрации соответствующего вредного вещества, найдем коэффициент эмиссии этого вредного вещества, кг/кг,

$$k_i = C_i Q \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где C_i – измеренная концентрация i -го вещества в отработавших газах, приведенная к нормальным условиям, мг/м³.

Во второй главе автором изложена методика вероятностной оценки загрязнения окружающей среды отработавшими газами тепловозных дизелей, в соответствии с которой локальное загрязнение оценивается по концентрации вредной примеси в приземном слое воздуха территории, близлежащей к источнику выброса, глобальное загрязнение — по массе выброшенных в атмосферу вредных веществ. При оценке концентрации вредной примеси в приземном слое воздуха исходят из наилучших условий рассеивания: неблагоприятного состояния атмосферы, максимальной мощности выброса загрязняющего вещества. Для расчета массы вредных веществ, выброшенных в атмосферу за отчетный период, необходимо ориентироваться на средние показатели токсичности отработавших газов тепловозов.

С точки зрения математической статистики вышесказанное можно истолковать следующим образом. Есть все основания предположить, что значения коэффициентов эмиссии вредных веществ с отработавшими газами тепловозов имеют некоторый разброс, т.е. являются случайными величинами. Имея достаточный объем экспериментальных данных, методами математической статистики можно установить, с той или иной степенью вероятности, закон распределения для данной совокупности случайных величин $F(x)$. Зная закон распределения $F(x)$, можно решить ряд практических задач: рассчитать вероятность недопустимого загрязнения (более 1 ПДК) приземного слоя воздуха, установить максимальные значения коэффициентов эмиссии, соответствующие заданному уровню значимости.

В данной главе изложена методика и результаты лабораторных исследований и экспериментальных исследований в условиях локомотивного депо при реостатных испытаниях тепловозов.

Для обработки результатов экспериментов использовались методы математической статистики. Для полученных экспериментально значений температуры отработавших газов, коэффициента избытка воздуха, коэффициентов эмиссии диоксида азота, оксида углерода, углеводородов и сажи произведена проверка гипотезы о соответствии распределения этих параметров нормальному закону. Проверка осуществлялась при помощи критерия согласия Пирсона χ^2 . Для всех значений выполнялось неравенство $\chi^2_{0.05;4} > \chi^2_{НАБЛ}$, таким образом, есть все основания считать, что полученные экспериментально величины удельных коэффициентов эмиссии диоксида азота, оксида углерода, углеводородов и сажи подчиняются нормальному закону.

Для дальнейших исследований методом наименьших квадратов получены регрессионные уравнения, описывающие экспериментальные зависимости удельных коэффициентов эмиссии диоксида азота, оксида углерода, углеводородов и сажи от позиции контроллера машиниста.

В качестве регрессионного уравнения использовался полином третьей степени

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3. \quad (4)$$

Для сравнения рассеивания значений, полученных в результате экспериментов, мы воспользовались коэффициентом вариации. На основании анализа коэффициентов вариации сделан вывод о том, что для исследования загрязнения атмосферы вредными веществами, содержащимися в отработавших газах тепловозов серии 2ТЭ10, необходимо применять статистические методы.

Оценка вероятности превышения наблюдаемых значений удельных коэффициентов эмиссии по сравнению с использующимися для расчета экологического налога показала следующее. Для азота диоксида во всем возможном диапазоне изменения нагрузки тепловозного дизеля наблюдается превышение эмпирических значений коэффициентов эмиссии над установленным значением для расчета экологического налога с вероятностью, близкой к единице. Для остальных веществ, напротив, вероятность такого превышения меньше 0,0001, т.е. практически равна нулю.

В третьей главе изложены результаты теоретического исследования загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами тепловозов.

При помощи гистограмм распределения режимов работы тепловозных дизелей оценено валовое загрязнение атмосферы отработавшими газами тепловозов. Из полученных гистограмм распределения валовых выбросов вредных веществ с отработавшими газами тепловозов видно, что на высоких позициях контроллера машиниста эмиссия токсичных компонентов распределена равномерно. Более 2/3 выбросов вредных веществ приходится на позиции контроллера машиниста выше 8-й, так как именно на этих режимах расходуется большая часть топлива.

При помощи математического моделирования исследовано влияние различных эксплуатационных факторов на валовые выбросы вредных веществ с

отработавшими газами тепловозов. Для моделирования использовались экспериментально полученные зависимости эмиссии токсичных компонентов с отработавшими газами тепловозов и АРМ «Тяговые расчеты». Моделирование осуществлялось для участка Жлобин-Гомель-Четный, тепловоз серии 2ТЭ10У.

Исследовано влияние массы состава, нагрузки на ось, технической и участковой скорости на загрязнение атмосферы отработавшими газами тепловозов, получены регрессионные уравнения (5) – (10), описывающие зависимость удельной эмиссии (кг/(10⁴ ткм бр.)) диоксида азота (m_{NO_2}), оксида углерода (m_{CO}), углеводородов ($m_{C_xH_y}$), сажи ($m_{CAЖA}$), серы (m_{SO_2}) и бенз(а)пирена ($m_{БП}$, мг/(10⁴ ткм бр.)). Значения коэффициентов детерминации (R^2) – не ниже 97 %:

$$m_{NO_2} = 0,0265 - 7,53 \cdot 10^{-6} Q V_T + 2,73 \cdot 10^{-12} Q^3 - 5,32 \cdot 10^{-4} V_T^2 + 0,0858 V_T, \quad (5)$$

$$m_{CO} = 0,448 - 7,50 \cdot 10^{-3} Q + 4,22 \cdot 10^{-8} Q^2 - 0,0129 V_T + 8,24 \cdot 10^{-4} (V_T - 40)^2 + 2,10 \cdot 10^{-5} Q V_T - 2,41 \cdot 10^{-11} (Q V_T)^2, \quad (6)$$

$$m_{C_xH_y} = 0,0466 - 8,06 \cdot 10^{-6} Q - 7,52 \cdot 10^{-4} V_T + 4,81 \cdot 10^{-10} Q^2 + 6,92 \cdot 10^{-6} V_T^2 + 5,95 \cdot 10^{-8} Q V_T, \quad (7)$$

$$m_{CAЖA} = 0,241 - 6,79 \cdot 10^{-5} Q + 4,85 \cdot 10^{-9} Q^2 - 1,21 \cdot 10^{-7} V_T + 3,55 \cdot 10^{-7} Q V_T + 2,06 \cdot 10^{-9} Q^{31}, \quad (8)$$

$$m_{SO_2} = 0,0333 - 1,06 \cdot 10^{-5} Q + 1,25 \cdot 10^{-9} Q^2 - 1,83 \cdot 10^{-7} Q V_T + 1,91 \cdot 10^{-3} V_T - 1,05 \cdot 10^{-5} V_T^2, \quad (9)$$

$$m_{БП} = 5,14 - 1,64 \cdot 10^{-3} Q + 1,93 \cdot 10^{-7} Q^2 - 1,83 \cdot 10^{-5} Q V_T + 0,296 V_T - 1,62 \cdot 10^{-3} V_T^2, \quad (10)$$

где Q – масса состава, т;

V_T – техническая скорость, км/ч.

Для комплексной оценки экологической опасности отработавших газов использовались два подхода:

- рассчитан суммарный удельный объем чистого воздуха (10⁶ м³/(10⁴ ткм бр.)), необходимый для разбавления всех токсичных компонентов до значения предельно допустимой концентрации (формула (11)), (далее по тексту – удельный объем чистого воздуха);

- рассчитан удельный экологический налог (р./ $(10^4$ ткм бр.)) по действующим на 05.02.02 г. ставкам (формула (12)):

$$W = \sum_{i=1}^6 \frac{m_i}{c_i}, \quad (11)$$

$$H = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^6 m_i H_i^{CT}, \quad (12)$$

где m_i – удельная эмиссия i -го вредного вещества, кг/ $(10^4$ ткм бр.);

c_i – предельно допустимая концентрация i -го вредного вещества, мг/м³;

H_i^{CT} – ставка налога для i -го вредного вещества, р./т.

Зависимости полученные по формулам (11) и (12) представлены на рис. 1 – 4.

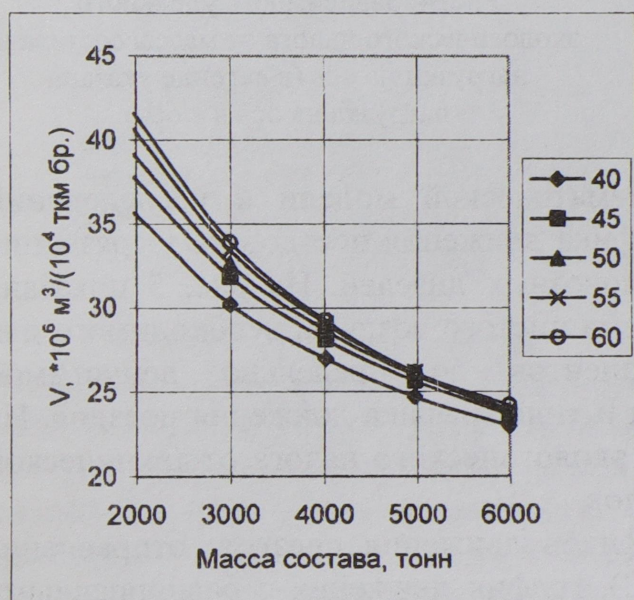


Рис. 1. Зависимость суммарного удельного объема чистого воздуха от массы состава и технической скорости (в легенде указана техническая скорость в км/ч)

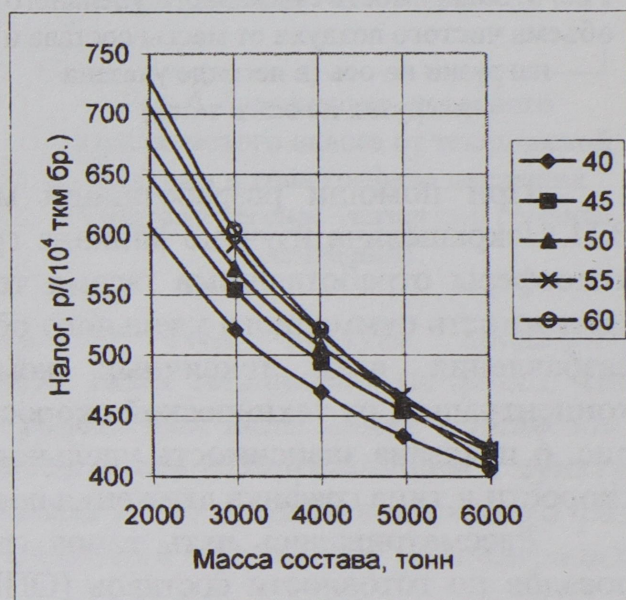


Рис. 2. Зависимость удельного экологического налога от массы состава и технической скорости (в легенде указана техническая скорость в км/ч)

Установлено, что с увеличением технической скорости от 40 до 55 км/ч происходит существенное увеличение удельного объема чистого воздуха, необходимого для разбавления токсичных компонентов отработавших газов до безопасного значения, т.е. существенно повышается вредное воздействие тепловозов на окружающую среду. Дальнейшее увеличение технической скорости (от 55 до 60 км/ч), особенно в области больших масс состава, не приводит к такому существенному росту вредного воздействия отработавших газов.

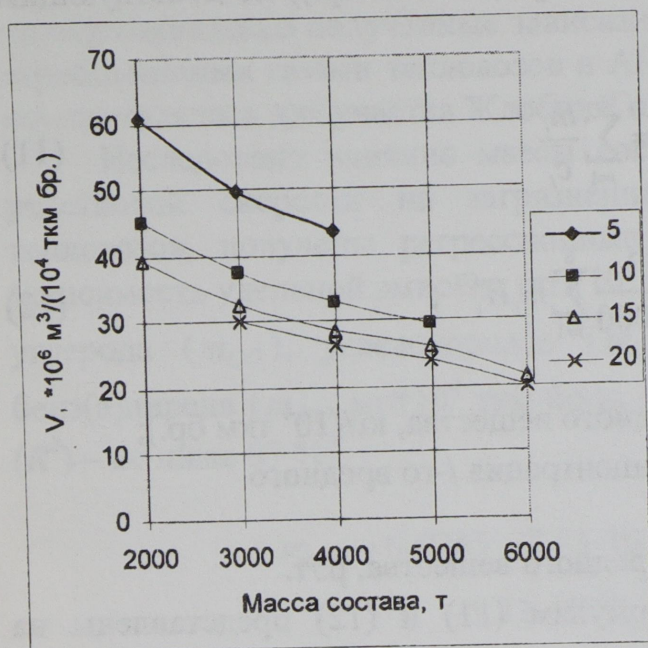


Рис. 3. Зависимость суммарного удельного объема чистого воздуха от массы состава и нагрузки на ось (в легенде указана нагрузка на ось в т/ось)

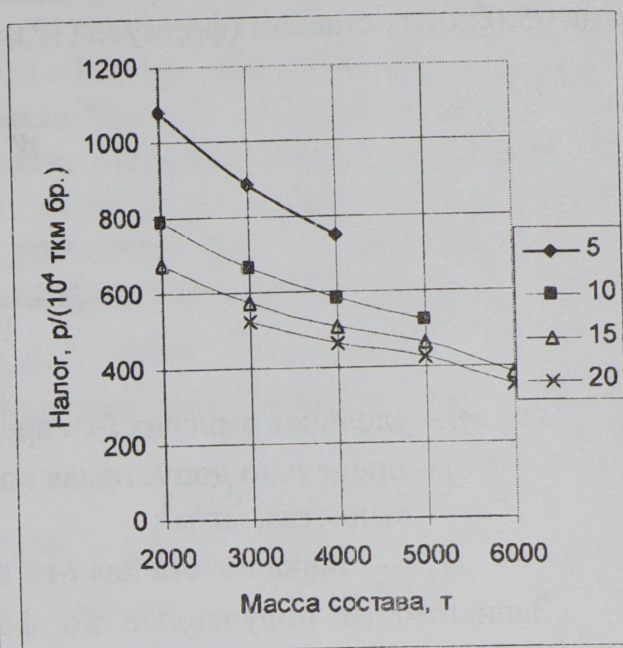


Рис. 4. Зависимость удельного экологического налога от массы состава и нагрузки на ось (в легенде указана нагрузка на ось в т/ось)

При помощи разработанной математической модели и исследований В.И. Некрашевича изучено влияние графика движения поездов на загрязнение атмосферы отработавшими газами тепловозных дизелей. На рис. 5 показана зависимость суммарного удельного объема чистого воздуха, необходимого для разбавления всех токсичных компонентов до предельно допустимой концентрации, от технической скорости и типа графика движения поездов. На рис. 6 показана зависимость удельного экологического налога от технической скорости и типа графика движения поездов.

Рассматривались пять типов графиков движения поездов: отправление поездов по готовности составов (ОПГС), график движения с равноправными расписаниями (ГДРР), график движения на основе системы интервального регулирования поездопотока (СИРП), график движения с выделением в нем расписаний для ядра поездов (ГДРЯ), график движения с постоянным числом отправок локомотивов в течение месяца (ГДПР). На рис. 5 и 6 видно, что минимальное загрязнение атмосферного воздуха обеспечивают графики движения ГДРЯ и ГДПР.

На основании анализа зависимостей, показанных на рис. 1 – 6, можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние на загрязнение окружающей среды отработавшими газами грузовых тепловозов оказывают масса состава и нагрузка на ось. Причем, с ростом осевой нагрузки и массы состава удельная величина вредного воздействия на окружающую среду уменьшается.

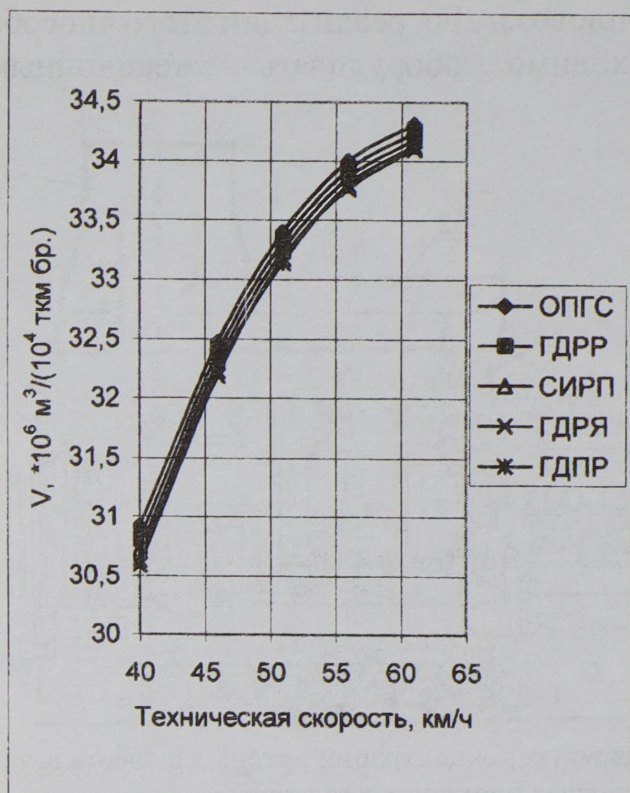


Рис. 5. Зависимость суммарного удельного объема чистого воздуха от технической скорости и типа графика движения поездов (в легенде указан тип графика движения)

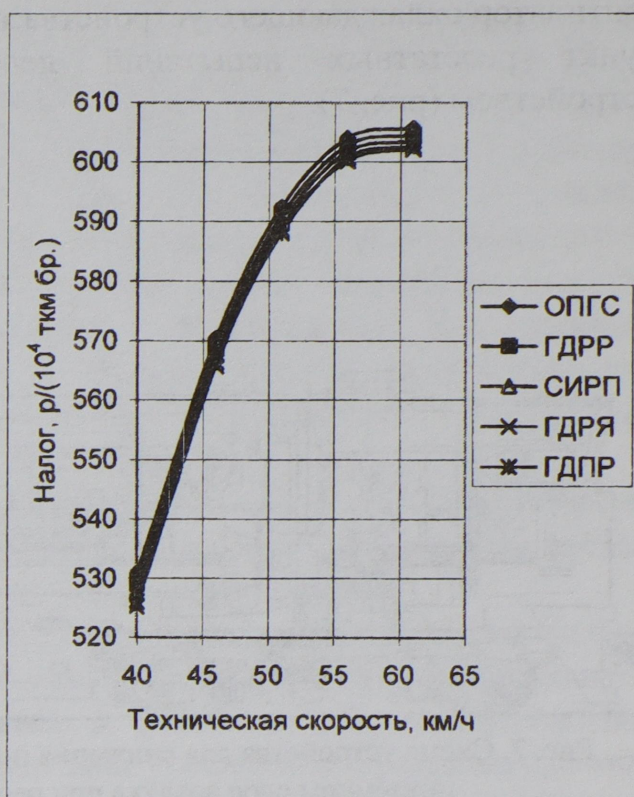


Рис. 6. Зависимость удельного экологического налога от технической скорости и типа графика движения поездов (в легенде указан тип графика движения)

Исследование загрязнения приземного слоя воздуха вредными веществами, содержащимися в отработавших газах тепловозов, показало, что наибольшее загрязнение имеет место при реостатных испытаниях тепловозов. Для большинства локомотивных депо в жилом массиве, близлежащем к пункту реостатных испытаний, концентрации оксидов азота и сажи в несколько раз превышают ПДК. При выборе способа снижения приземных концентраций исходили из следующих соображений.

К способу снижения загрязнения атмосферного воздуха жилого массива при реостатных испытаниях тепловозов предъявляются следующие требования: обеспечение необходимого снижения приземных концентраций вредных веществ, простота обслуживания, низкая стоимость, исключение необходимости утилизации уловленных вредных веществ и(или) замены расходуемых материалов. Этим требованиям наиболее удовлетворяет группа способов, использующих принцип улучшения рассеивания отработавших газов в атмосферном воздухе.

Улучшить рассеивание можно двумя путями: увеличить высоту устья выхлопной трубы или разбавить отработавшие газы чистым воздухом. Как показали расчеты, для необходимого снижения приземных концентраций только увеличения высоты устья трубы недостаточно. Разбавление отработавших газов чистым воздухом требует наличия источника чистого воздуха. В качестве источника чистого воздуха предлагается использовать

вентилятор охлаждающего устройства тепловоза. Для реализации этого способа пункт реостатных испытаний необходимо оборудовать эжекционным устройством (рис. 7).

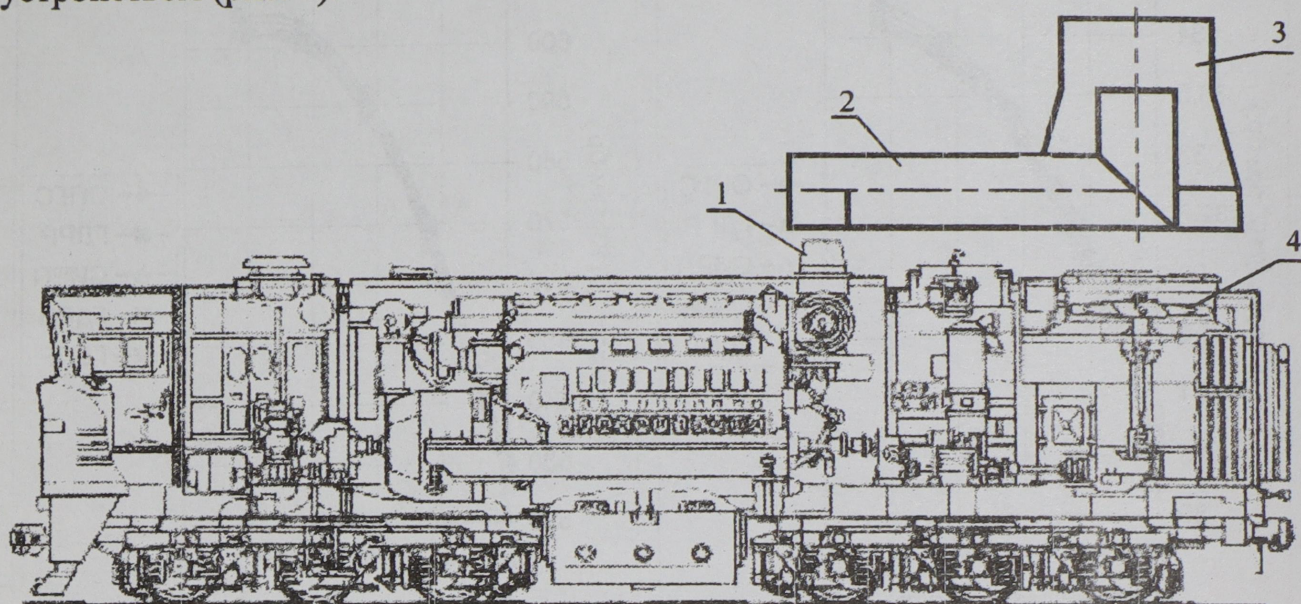


Рис. 7. Схема устройства для снижения приземных концентраций вредных веществ в приземном слое воздуха при реостатных испытаниях тепловозов:

1 – выхлопная труба тепловоза; 2 – газоход; 3 – камера смешения; 4 – вентилятор охлаждающего устройства тепловоза

На рис. 8 и 9 представлены результаты исследования рассеивания диоксида азота (как наиболее опасного компонента отработавших газов) при традиционных реостатных испытаниях и при испытаниях с использованием эжектора.

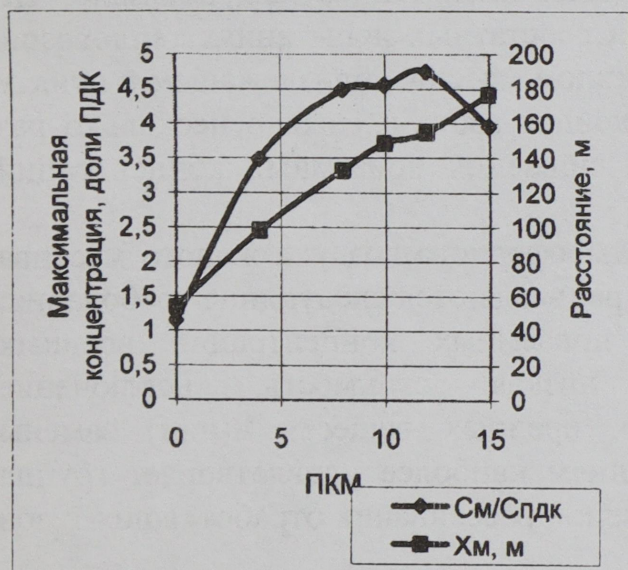


Рис. 8. Значения максимальных приземных концентраций диоксида азота в приземном слое воздуха и расстояний, на которых они достигаются, при реостатных испытаниях тепловозов серии 2ТЭ10У в зависимости от позиции контроллера машиниста

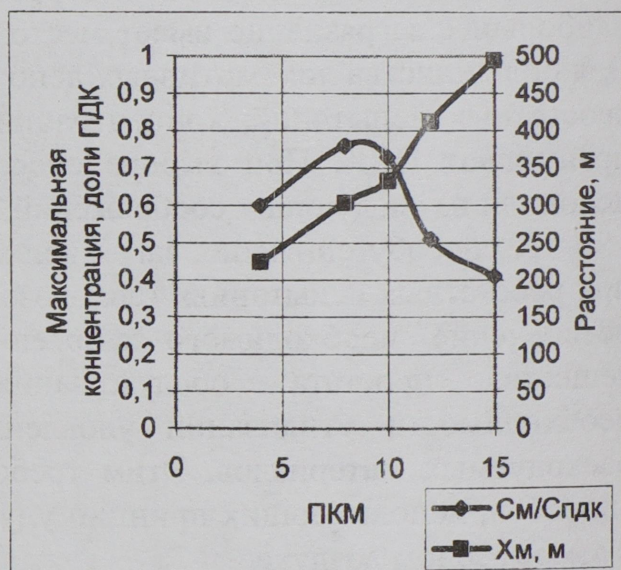


Рис. 9. Значения максимальных приземных концентраций диоксида азота в приземном слое воздуха и расстояний, на которых они достигаются, при реостатных испытаниях тепловозов серии 2ТЭ10У с использованием эжектора в зависимости от позиции контроллера машиниста

Полученное распределение валовых выбросов вредных веществ по позициям контроллера машиниста указывает на то, что если ставится задача снижения загрязнения атмосферы за счет изменения токсических характеристик тепловозного дизеля, в первую очередь необходимо уменьшать содержание токсичных компонентов на позициях контроллера машиниста выше 8-й. В результате математического моделирования установлено, что из рассмотренных эксплуатационных факторов наибольшее влияние на эмиссию вредных веществ оказывают масса состава и нагрузка на ось. Для снижения загрязнения приземного слоя воздуха отработавшими газами тепловозного дизеля при реостатных испытаниях можно использовать эжекционное устройство.

В четвертой главе на основе разработанных методик предложен проект руководящего документа расчета экологического налога и измерения состава отработавших газов тепловозов в условиях локомотивного депо.

Методика расчета экологического налога за валовые выбросы токсичных веществ с отработавшими газами тепловозов базируется на результатах исследований токсических характеристик и режимов работы тепловозных дизелей в эксплуатации. При этом рассчитаны уточненные средневзвешенные коэффициенты эмиссии оксида углерода, углеводородов, диоксида азота и сажи с отработавшими газами тепловозов различных серий (таблица 1). Коэффициент эмиссии диоксида серы предложено рассчитывать по фактическому содержанию серы в дизельном топливе.

Таблица 1

Удельная эмиссия вредных веществ с отработавшими газами тепловозов серии 2ТЭ10 при сгорании 1 т дизельного топлива, кг

Оксид углерода	Углеводороды	Диоксид азота	Сажа	Сернистый газ	Бенз(а)-пирен
33,2	0,76	53,4	6,3	2,0	$3,1 \cdot 10^{-4}$

Экологический налог за выбросы в атмосферу для каждой эксплуатирующейся серии тепловоза рассчитывается по формуле

$$\Pi = \gamma V_m \sum C_i K_i, \quad (13)$$

где γ – коэффициент, вводимый для передвижных источников загрязняющих веществ; $\gamma = 0,8$.

V_m – количество дизельного топлива, фактически израсходованного тепловозами данной серии за рассматриваемый период, т;

C_i – ставка налога за i -тое вредное вещество, р./т;

K_i – количество i -того вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу при сгорании 1 т дизельного топлива (коэффициент эмиссии), кг/т.

Если в локомотивном депо организован экологический контроль отработавших газов тепловозов, известны режимы вождения поездов по обслуживаемым плечам, то возможен расчет экологического налога по фактическим выбросам. В этом случае администрация локомотивного депо заинтересована в снижении экологического налога не только путем снижения расхода топлива, но и снижением токсичности отработавших газов и выбором наиболее безопасных с экологической точки зрения режимов ведения поезда.

Для снижения накладных расходов на экологические испытания тепловозов в условиях локомотивного депо предлагаются следующие режимы (таблица 2)

Таблица 2

Перечень режимов для измерения состава отработавших газов

Серия тепловоза	ПКМ
2ТЭ10	0; 5; 10; 15

С целью снижения расходов и повышения надежности результатов для экологических испытаний рекомендуем привлекать организации, аккредитованные на проведение соответствующих измерений. В этом случае пункт реостатных испытаний тепловозов должен быть снабжен оборудованием, обеспечивающим безопасный доступ обслуживающего персонала к устью выхлопной трубы тепловоза, для установки пробоотборного устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования загрязнения окружающей среды отработавшими газами позволяют сделать следующие выводы.

1. Для расчета удельных коэффициентов эмиссии вредных веществ в атмосферу с отработавшими газами тепловозов разработана методика, основанная на измерении концентрации свободного кислорода в отработавших газах. Доказана возможность использования этой методики для расчета экологических характеристик тепловозов находящихся в эксплуатации. Применение данной методики в результате исключения измерения расхода воздуха на всасывании в дизель и(или) расхода отработавших газов на выпуске позволяет повысить точность расчета и существенно снизить трудоемкость (на 47 %) измерений в условиях локомотивного депо [2, 4, 6, 9, 10, 12].

2. Установлена необходимость использования статистических методов для оценки загрязнения атмосферы вредными веществами, содержащимися в отработавших газах тепловозных дизелей, так как полученные в результате экспериментов значения эмиссии вредных веществ для тепловозов серии 2ТЭ10

имеют существенное рассеивание. Данное положение подтверждается высокими значениями коэффициентов вариации (от 20 до 60 %) для всех вредных веществ во всем диапазоне изменения мощности тепловозного дизеля. При помощи вероятностных методов доказано, что применяемая до настоящего времени методика для расчета валовых выбросов вредных веществ в атмосферу с отработавшими газами передвижных источников не может использоваться для тепловозов. Во всем диапазоне изменения мощности тепловозного дизеля вероятность превышения фактической эмиссии диоксида азота значения, принимаемого для расчета, по действующей методике близка к единице, т.е. в действующей методике значение удельной эмиссии диоксида азота существенно занижено. Для оксида углерода, несгоревших углеводородов и сажи наблюдается обратная картина: в действующей методике соответствующие значения удельной эмиссии существенно завышены [8, 11, 13, 14, 15].

3. Для повышения достоверности оценки воздействия тепловозов на окружающую среду предложено рассчитывать глобальное загрязнение атмосферы отработавшими газами при помощи математических ожиданий удельных коэффициентов эмиссии вредных веществ, а для расчета локального загрязнения атмосферы использовать квантили порядка 0,95. Для математических ожиданий и квантилей порядка 0,95 удельных коэффициентов эмиссии автором получены регрессионные уравнения, устанавливающие связь этих параметров с позицией контроллера машиниста [5, 7].

4. На базе регрессионных уравнений, описывающих связь удельной эмиссии вредных веществ с позицией контроллера машиниста и АРМ «Тяговые расчеты», получена математическая модель для исследования вредного воздействия отработавших газов тепловозов на окружающую среду. Математическая модель дополнена критерием для комплексной оценки экологической опасности отработавших газов. Исследование влияния эксплуатационных факторов на загрязнение окружающей среды отработавшими газами тепловоза с помощью данной математической модели позволило установить, что наибольшее влияние на загрязнение окружающей среды оказывают масса состава и нагрузка на ось [3, 20].

5. Использование методов математической статистики позволило установить, что наиболее опасными с точки зрения локального загрязнения атмосферного воздуха являются реостатные испытания тепловозов: вероятность превышения значений ПДК для диоксида азота и сажи в приземном слое воздуха близка к единице. Эти результаты подтверждаются расчетом рассеивания вредных веществ при реостатных испытаниях тепловозов для локомотивного депо Жлобин Белорусской железной дороги. Установлено, что концентрации диоксида азота и сажи в близлежащем жилом массиве от 3 до 5 раз превышают предельно допустимые. Для улучшения экологической обстановки вокруг пункта реостатных испытаний тепловозов разработано эжекционное устройство, принцип действия которого основан на использовании чистого воздуха, выбрасываемого из охлаждающего устройства

тепловоза. Этот воздух способствует разбавлению отработавших газов и подъему их на большую высоту. Соответствующие расчеты подтверждают эффективность предлагаемого автором устройства: в приземном слое воздуха в жилом массиве концентрации вредных веществ, выброшенных при реостатных испытаниях, не превышает ПДК. Устройство улучшает рассеивание вредных веществ в приземном слое воздуха, отличается низкой стоимостью и предельно малыми эксплуатационными расходами [1, 16, 17, 18, 19].

6. На базе результатов экспериментальных исследований разработана уточненная методика расчета валовых выбросов вредных веществ с отработавшими газами тепловозов серии 2ТЭ10. Внедрение уточненной методики расчета платежей за вредные выбросы с отработавшими газами тепловозов серии 2ТЭ10 в окружающую среду позволит снизить плату за них на величину около 19 % [2]

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах

1. Овчинников В.М., Френкель С.Я., Халиманчик В.А., Скрежендевский В.В., Самодум Ю.Г. Снижение приземных концентраций вредных веществ при реостатных испытаниях тепловозов // Вестник БелГУТа. — 2001. — №1. — С. 21—24.
2. Овчинников В.М., Халиманчик В.А., Скрежендевский В.В., Тимофеев С.Р., Теслюк Т.В. Результаты научно-практической деятельности по охране окружающей среды на предприятиях Белорусской железной дороги // Вестник БелГУТа. — 2001. — №2. — С. 74—80.
3. Скрежендевский В.В. Экологический показатель тепловоза // Локомотив. — 2004. — №2. — С. 34—35.

Статьи в сборниках

4. Овчинников В.М., Скрежендевский В.В. Исследование эффективности применения модификатора дизельного топлива "Адизоль" // Совершенствование конструкции, ремонта и обслуживания подвижного состава железных дорог: Сб. ст. / Под ред. В.И. Сенько. — Гомель: Белорус. гос. ун-т трансп., 1998. — С. 113—117.
5. Скрежендевский В.В. Исследование токсичности отработавших газов четырехтактного дизеля // Совершенствование конструкции, ремонта и обслуживания подвижного состава железных дорог: Сб. ст. / Под ред. В.И. Сенько. — Гомель: Белорус. гос. ун-т трансп., 1998. — С. 117—120.
6. Овчинников В.М., Френкель С.Я., Скрежендевский В.В. Анализ отработавших газов тепловозных дизелей // Экология и молодежь. Исследования экосистем в условиях радиоактивного и техногенного загрязнения окружающей среды. Материалы I Международной научно-

- практической конференции. Т. I. Часть I. ГГУ им. Ф. Скорины. — Гомель, 1998. — С.123—124.
7. Skrazhandzewski V.V. Analysis of Exhaust Gas from the Locomotive Diesel // MOTAUTO'98: Proceeding, Sofia, 14 – 16 Oct. 1998 / Union of Mechanical Engineering. — Sofia, 1998. — P. 80.
8. Овчинников В.М., Халиманчик В.А., Френкель С.Я., Скрежендевский В.В., Самодум Ю.Г., Алесенко М.А., Якобсон А.Л. Изменение экологических характеристик тепловозов при эксплуатации // Охрана окружающей среды на транспорте и в промышленности: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 20 — 21 сент. 2001 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. — Гомель, 2001. — С.83.

Тезисы

9. Скрежендевский В.В. Методы оценки экологической опасности тепловозных дизелей // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 1997 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. — Гомель, 1997. — С. 67.
10. Скрежендевский В.В. Влияние режимов эксплуатации тепловозов на токсичность отработавших газов // Экологическая безопасность транспортных магистралей: Тез. докл. науч.-практ. конф. Москва, 13 — 16 апр. 1998 г. / МИИТ. — Москва, 1998. — С. 34.
11. Скрежендевский В.В., Халиманчик В.А. Токсичность отработавших газов различных локомотивов // Актуальные проблемы развития транспортных систем: Тез. докл. научн.-техн. конф., Гомель, 1 — 2 окт. 1998 г. / Белорус. госуд. унив. трансп. — Гомель, 1998. — С. 272.
12. Скрежендевский В.В., Якобсон А.Л. Влияние конструкции выхлопного тракта тепловоза 2ТЭ10 на характеристики отработавших газов // Актуальные проблемы развития транспортных систем: Тез. докл. науч.-техн. конф. Гомель, 1 — 2 окт. 1998 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. — Гомель, 1998. — С. 273.
13. Халиманчик В.А., Скрежендевский В.В. Влияние технического состояния тепловозов на загрязнение окружающей среды // Актуальные проблемы развития транспортных систем: Тез. докл. науч.-техн. конф. Гомель, 1 — 2 окт. 1998 г. / Белорус. госуд. унив. трансп. — Гомель, 1998. — С. 273.
14. Овчинников В.М., Френкель С.Я., Скрежендевский В.В. Токсичные характеристики тепловозных дизелей // Экологическая безопасность транспортных магистралей: Тез. докл. науч.-практ. конф. Москва, 7 — 9 апр. 1999 г. / МИИТ. — Москва, 1999. — С. 16 — 18.
15. Овчинников В.М., Френкель С.Я., Халиманчик В.А., Скрежендевский В.В. Оценка эколого-экономической эффективности мероприятий по снижению расхода топлива тепловозами // Ресурсосберегающие технологии на

- железнодорожном транспорте: Тез. докл. науч.-практ. конф. Москва, 20 – 22 окт. 1999 г. / МИИТ. — Москва, 1999. — С. IV - 22.
16. Овчинников В.М., Халиманчик В.А., Скрежендевский В.В., Самодум Ю.Г. Методы снижения приземных концентраций вредных веществ при реостатных испытаниях тепловозов // Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка: Тез. докл. науч.-техн. конф. Могилев, 18 – 19 мая 2000 г. / ММИ. — Могилев, 2000. — С. 442.
 17. Овчинников В.М., Френкель С.Я., Халиманчик В.А., Скрежендевский В.В., Самодум Ю.Г. Опыт исследования технических решений по топливосбережению и снижению токсичности тепловозных дизелей // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. Гомель, 18 – 20 окт. 2000 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. — Гомель, 2000. — С.141.
 18. Скрежендевский В.В., Самодум Ю.Г., Ющенко А.С. Разработка устройства снижения приземных концентраций вредных веществ при реостатных испытаниях тепловозов // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. Гомель, 18 – 20 окт. 2000 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. — Гомель, 2000. — С.145.
 19. Овчинников В.М., Скрежендевский В.В., Самодум Ю.Г. Загрязнение атмосферы при проведении реостатных испытаний тепловозов // Белорусско-Польский науч.-практ. семинар: Тезисы докладов. Белосток, 11—13 сент. 2001 г. — Минск, 2001. — С.134.— 135
 20. Френкель С.Я., Скрежендевский В.В. Моделирование загрязнения атмосферы отработавшими газами грузовых тепловозов. // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. Ч.II. Гомель, 1 – 2 окт. 2003 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. — Гомель, 2003. — С. 211—213.

УМЕНЬШЕНИЕ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ГРУЗОВЫХ ТЕПЛОВОЗОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Ключевые слова: грузовые тепловозы, отработавшие газы, загрязнение окружающей среды, математическая модель, эксплуатационные факторы.

Объектом исследования являются грузовые тепловозы с электрической передачей. Предметом исследования являются состав отработавших газов тепловозного дизеля и снижение вредного воздействия на окружающую среду отработавших газов тепловозного дизеля.

Целью исследования является разработка методов уменьшения вредного воздействия отработавших газов грузовых тепловозов на окружающую среду.

С применением экспериментальных и теоретических методов исследования сформулирован вероятностный подход к оценке загрязнения атмосферы отработавшими газами тепловозных дизелей; доказана необходимость применения методов математической статистики для исследования загрязнения атмосферы отработавшими газами грузовых тепловозов; получена зависимость между загрязнением окружающей среды отработавшими газами тепловозов и эксплуатационными факторами; получена математическая модель, устанавливающая связь между эксплуатационными факторами и загрязнением окружающей среды отработавшими газами тепловозов; усовершенствована методика расчета коэффициентов эмиссии вредных веществ с отработавшими газами тепловозов; предложена методика сравнения (оценки) экологической опасности тепловозов различных серий.

Методика расчета вредных выбросов представлена на согласование в Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды. Практические результаты могут быть использованы локомотивными депо Белорусской железной дороги для улучшения экологической обстановки при реостатных испытаниях тепловозов, а также организациями, разрабатывающими природоохранную документацию для объектов железнодорожного транспорта.

ПАМЯНШЭННЕ ШКОДНАГА ЁЗДЗЕЯННЯ АДПРАЦАВАНЫХ ГАЗАЎ
ГРУЗАВЫХ ТЭПЛАВОЗАЎ НА НАВАКОЛЬНАЕ АСЯРОДДЗЕ

Ключавыя словы: грузавыя цеплавозы, адпрацаваныя газы, забруджванне навакольнага асяроддзя, матэматычная мадэль, эксплуатацыйныя фактары.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца грузавыя цеплавозы з электрычнай перадачай. Прадметам даследавання з'яўляюцца састаў атпрацаваных газаў цеплавознага дызеля і паніжэнне шкоднага ёздзеяння на навакольнае асяроддзе адпрацаваных газаў цеплавознага дызеля.

Мэтай даследавання з'яўляецца распрацоўка метадаў памяншэння шкоднага ёздзеяння адпрацаваных газаў грузавых цеплавозаў на навакольнае асяроддзе.

З ужываннем эксперыментальных і тэарэтычных метадаў даследавання сфармуляваны імавернасны падыход да ацэнкі забруджвання атмасферы адпрацаванымі газамі цеплавозных дызелей; даказана неабходнасць ужывання метадаў матэматычнай статыстыкі для даследавання забруджвання атмасферы адпрацаванымі газамі грузавых цеплавозаў; атрымана залежнасць па між забруджваннем навакольнага асяроддзя адпрацаванымі газамі цеплавозаў і эксплуатацыйнымі фактарамі; атрымана матэматычная мадэль, выяўляючая сувязь па між эксплуатацыйнымі фактарамі і забруджваннем навакольнага асяроддзя адпрацаванымі газамі цеплавозаў; удасканалена метадыка разліку каэфіцыентаў эмісіі шкодных рэчываў з адпрацаванымі газамі цеплавозаў; прапанавана метадыка параўнання экалагічнай небяспекі цеплавозаў розных серый.

Метадыка разліку шкодных выкідаў пададзена на дапасаванне ў Міністэрства прыродных рэсурсаў і аховы навакольнага асяроддзя. Практычныя вынікі могуць быць выкарыстаны лакаматыўнымі дэпо Беларускай чыгункі для паляпшэння экалагічнага становішча пры рэастатных выпрабаваннях цеплавозаў, а гэтак жа арганізацыямі, распрацоўваючымі прыродаахоўную дакументацыю для аб'ектаў чыгуначнага транспарту.

SUMMARY

Victor Skrazhandzewski

Decreasing the Harmful Action of the Exhaust Gases of the Freight Diesel Locomotives on the Environment

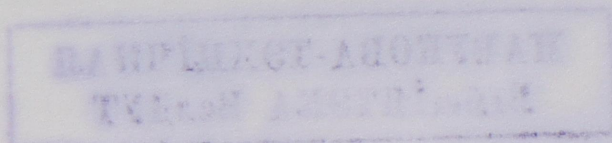
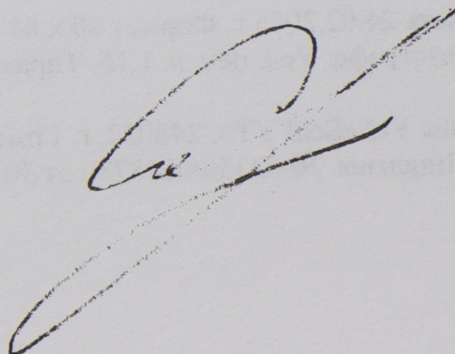
Key words: freight diesel locomotives, exhaust gases, environmental pollution, mathematical model, operational factors.

The object of the investigation is the freight diesel electric locomotives. The subject of the investigation is the composition of the exhaust gases of the diesel locomotive diesel engine and the reduction of the harmful action of the exhaust gases of the diesel locomotive diesel engine on the environment.

The aim of the investigation is to suggest the methods for decreasing the harmful action of the exhaust gases of the freight diesel locomotives on the environment.

With the help of using the experimental and theoretical methods of investigation the probabilistic approach to the estimation of the atmospheric pollution by the exhaust gases of the diesel locomotive diesel engine has been formulated; the necessity of applying the mathematical statistics methods for investigating the atmosphere pollution by the exhaust gases of the freight diesel locomotives has been proved; the dependence between the environment pollution by the exhaust gases of the diesel locomotives and the operational factors has been formulated; the mathematical model, establishing the connection between the operational factors and the environment pollution by the exhaust gases of the diesel locomotives has been obtained; the methods of calculating the emission factor of the harmful substances together with the exhaust gases of the diesel locomotives has been improved; the methods of comparing the ecological danger of the diesel locomotives of different types has been suggested.

The methods of calculating the harmful ejections are presented for submission to the ministry of natural resources and environment protection. Practical results can be used by the locomotive depots of the Belarusian Railways for improving the ecological conditions while rheostat tests of the diesel locomotives are made, and they also can be the organizations, developing the nature protection documentation for the railway transport objects.



Научное издание

СКРЕЖЕНДЕВСКИЙ Виктор Владимирович

**Уменьшение вредного воздействия отработавших газов
грузовых тепловозов на окружающую среду**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 24.02.2005 г. Формат 60 x 84 ¹/₁₆. Бумага офсетная № 1.
Печать на ризографе. Усл. печ. л. 1,16. Тираж 100 экз. Зак. № 657.

Типография УО «БелГУТ», 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
Лицензия № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.

НАУКОВА-ТЭХНІЧНАЯ
БІБЛІОТЕКА ВЕДУТ