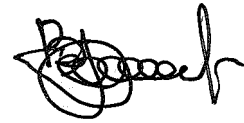


На правах рукописи



БОСЯКОВ Владимир Петрович

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В
ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

05.04.02 - Тепловые двигатели

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Барнаул – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» и Некоммерческом партнерстве «Сертификационный центр автотракторной техники».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Синицын Владимир Александрович.

Научный консультант: доктор технических наук, доцент
Малозёмов Андрей Адиевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Новоселов Александр Леонидович;
кандидат физико-математических наук, доцент
Зацепин Павел Михайлович.

Ведущая организация: ОАО «ПО «Алтайский моторный завод».

Защита состоится «2» марта 2012 года в «14.30» часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.03 при ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46 (тел/факс (3852)260516; E-mail: D21200403@mail.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова».

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46 на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан «___» января 2012 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



А.Е. Свистула

СПИСОК ПРИНЯТЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

<i>ВВ</i>	– вредные вещества;
<i>ВМТ</i>	– верхняя мертвая точка;
<i>ДВС</i>	– двигатель внутреннего сгорания;
<i>ИНС</i>	– искусственная нейронная сеть;
<i>ОГ</i>	– отработавшие газы;
<i>УОВТ</i>	– угол опережения впрыскивания топлива;
<i>ТНВД</i>	– топливный насос высокого давления;
<i>ЭСВТ</i>	– электронная система впрыскивания топлива;
<i>СО</i>	– оксид углерода II;
<i>СН</i>	– углеводороды;
<i>NO_x</i>	– оксид азота;
<i>PM</i>	– вредные частицы;
<i>F</i>	– показатель токсичности отработавших газов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Улучшение экологических показателей дизелей является одной из важнейших проблем двигателестроения. Это связано не только с вредным воздействием ОГ непосредственно на человеческий организм, но и отрицательным влиянием токсичных компонентов ОГ на здания, сельскохозяйственные растения и животных, что влечет накопление ВВ в продуктах питания.

Разработка мероприятий по снижению выбросов ВВ с ОГ, как правило, проводится по следующим основным направлениям: 1) конструктивные мероприятия, затрагивающие рабочий цикл двигателя; 2) обеспечение оптимальных регулировок; 3) применение нетрадиционных топлив и присадок к топливам; 4) нейтрализация ВВ после их выброса из цилиндра двигателя.

Выбор и обоснование мероприятий, направленных на снижение выбросов ВВ с ОГ, могут проводиться как экспериментальным, так и расчетным путями. В последнем, высоким потенциалом обладают ИНС – хорошо обу-

ченная нейронная сеть позволяет получать адекватные взаимозависимости параметров работы ДВС, что дает возможность применять их для оптимизации конструкции.

Использованию нейронных сетей в двигателестроении посвящены труды следующих исследователей: До Дык Лыу, Ле Ван Дием, Смирнов А.Б., Badreddine B., Howell M.N., Hrovat D., Lucas A., Shayler P.J., Shim D., Khargonekar P.P., Ribbens W., Wedeneker M., Czarnigowski J., Yuanwang D., Meilin Z., Dong X., Xiaobei C. и др., в которых рассмотрены вопросы анализа рабочего цикла, параметров надежности, транзитных режимов ДВС, создания алгоритмов управления и др. В качестве исходных данных для обучения ИНС используются экспериментальные данные, получение которых связано с большими затратами времени и материальных ресурсов, что является серьезным недостатком существующих методик применения ИНС. В настоящей работе предложена методика оптимизации конструктивных параметров ДВС, основанная на обучении ИНС с использованием как экспериментальных, так и расчетных данных, полученных с применением математической модели рабочего процесса на основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов рабочего тела, что позволит значительно сократить затраты времени и материальных ресурсов на доводку двигателей. Также комплексная математическая модель позволяет производить расчеты для обоснования вносимых изменений в конструкцию двигателей с целью их доводки и модернизации для повышения мощностных, экономических характеристик и снижения выбросов ВВ с ОГ.

Цель настоящего исследования – снизить выбросы ВВ с ОГ тракторного дизеля.

Научная проблема, решаемая в исследовании, заключается в противоречии между необходимостью дальнейшего уменьшения выбросов ВВ с ОГ с сохранением параметров экономичности и надежности, необходимостью сокращения затрат времени и материальных ресурсов на доводку ДВС и отсутствием обоснованной методологии применения ИНС для оптимизации конструктивных параметров ДВС.

Гипотеза исследования – снижения выбросов ВВ с ОГ дизеля можно добиться путем оптимизации его конструктивных параметров с использованием комплексной математической модели рабочего процессов на основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов рабочего тела и ИНС.

Для достижения указанной цели на основании выдвинутой гипотезы необходимо решить следующие **задачи**:

1. На основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов рабочего тела и искусственной нейронной сети, обучаемой с использованием как экспериментальных, так и расчетных данных, разработать комплексную математическую модель для определения удельных выбросов вредных веществ с отработавшими газами и других параметров дизеля (экономичности, тепломеханической напряженности) и экспериментально подтвердить ее адекватность.

2. Разработать методику обучения искусственной нейронной сети для определения удельных выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизеля.

3. На основе комплексной математической модели разработать методику оптимизации конструктивных параметров ДВС. Обосновать критерии оптимизации и выбрать ограничивающие параметры.

4. С использованием разработанной методики оптимизировать угол опережения впрыскивания топлива дизеля типа 4ЧН13/15 для топливного насоса высокого давления с механическим и электронным управлением с целью снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами на режимах по ГОСТ Р 41.96 с сохранением экономичности и надежности.

Объект исследования – рабочий цикл тракторного дизеля с объемным смесеобразованием.

Предмет исследования – влияние УОВТ на выбросы ВВ с ОГ и другие параметры дизеля (экономичность, тепломеханическая напряженность).

Методика и методы исследования. Методика исследования предусматривает сочетание натурных испытаний с численным экспериментом. Исследо-

вания проводились с использованием теории двигателей, термодинамического анализа и математического моделирования с использованием ИНС, математической и статистической обработки экспериментальных данных.

Обоснованность и достоверность результатов исследования подтверждается достаточным объемом экспериментов, применением комплекса современных, информативных и объективных методов исследования, соответствующих государственным стандартам, использованием современной измерительной аппаратуры, систематической её проверкой и контролем погрешностей, апробированием результатов расчетных исследований экспериментальными данными, а также сопоставлением полученных результатов с данными других исследователей.

Научную новизну имеют следующие положения, выносимые на защиту:

1. Комплексная математическая модель для определения удельных выбросов вредных веществ с отработавшими газами и других параметров дизеля (экономичности, тепломеханической напряженности), отличающаяся от известных тем, что объединяет модели рабочего цикла поршневых двигателей внутреннего сгорания на основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов рабочего тела и искусственной нейронной сети.

2. Методика обучения искусственной нейронной сети для определения удельных выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизеля, отличающаяся от известных тем, что для обучения позволяет использовать как экспериментальные, так и расчетные данные, полученные с применением системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов рабочего тела.

3. Методика оптимизации конструктивных параметров двигателей внутреннего сгорания (на примере угла опережения впрыскивания топлива) с целью обеспечения минимальных выбросов вредных веществ на режимах по ГОСТ Р 41.96, основанная на разработанной комплексной математической модели.

4. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на выбросы вредных веществ с отработавшими газами на режимах работы дизеля типа 4ЧН13/15, определенных ГОСТ Р 41.96.

Практическую ценность имеют:

1. Методика оптимизации конструктивных параметров дизеля и определения оптимальных моментов начала впрыскивания топлива для ТНВД с механическим и электронным управлением на режимах по ГОСТ Р 41.96 для снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами с сохранением экономичности и надежности.

2. Рекомендации по оптимизации угла опережения впрыскивания топлива для дизеля типа 4ЧН13/15, оборудованного топливным насосом высокого давления с механическим и электронным управлением, обеспечивающие снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами на режимах по ГОСТ Р 41.96 с сохранением экономичности и надежности.

Результаты исследования могут быть использованы при создании новых и совершенствовании выпускаемых ДВС при проведении научно-исследовательских работ, а также в учебном процессе.

Реализация результатов работы. Материалы диссертации используются и внедрены: в ООО «ЧТЗ-Уралтрак», НП «СЦ АТТ», 29 КТЦ МО РФ.

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены и одобрены на: международной научно-технической конференции «Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей» (г. Санкт Петербург, 2011); всероссийской научно-технической конференции «Научно-технические проблемы современного двигателестроения» (Уфа, 2011); юбилейной научно-технической конференции, посвященной 40-летию кафедры двигателей ЧВВАКИУ «Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин» (г. Челябинск, 2008); 30-й отраслевой научно-технической конференции молодых специалистов (г. Санкт Петербург, 2011); заседаниях кафедры ДВС АлтГТУ (Барнаул, 2011).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 научных статей, в том числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК.

Объем и содержание работы. Диссертация содержит 117 с., 26 рисунков, 14 таблиц и состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы (123 наименования).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проанализирован состав ОГ дизеля, дана характеристика ВВ выбрасываемых с ОГ, влияние их на организм человека и окружающую среду. Для сравнения опасности ВВ приведена относительная токсичность основных компонентов ОГ.

Также в первой главе отмечено, что выбор и обоснование мероприятий, направленных на снижение выбросов ВВ с ОГ, может проводиться как экспериментальным, так и расчетным путем. Расчетный способ способствует снижению затрат на моторные испытания.

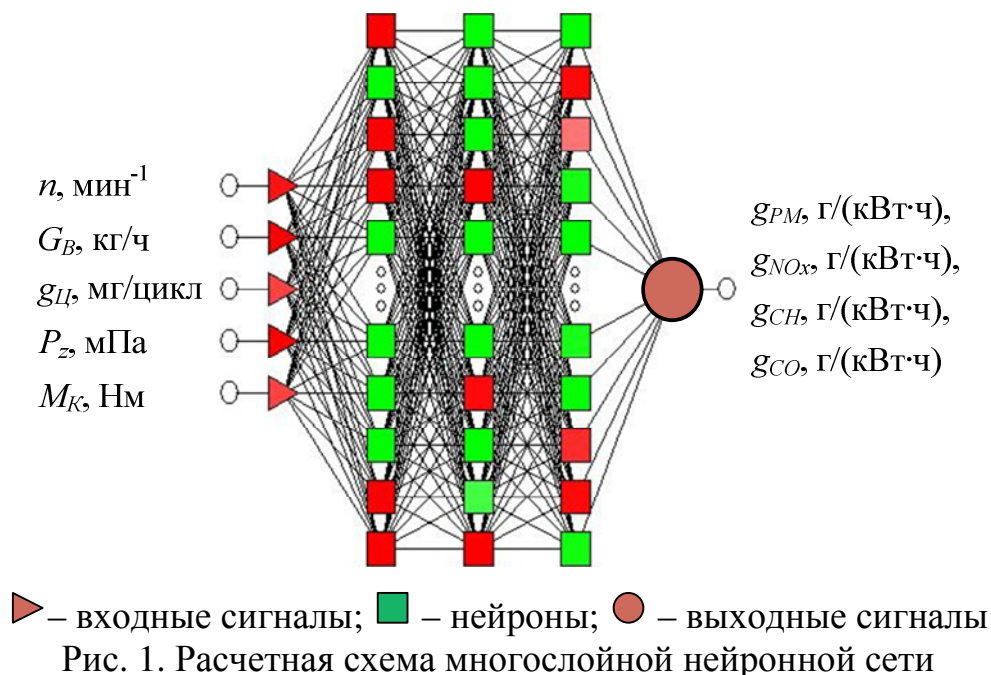
В настоящем исследовании предложено использование полуэмпирического подхода к математическому моделированию рабочего цикла, объединяющего систему дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов рабочего тела (полученных на основании законов сохранения энергии и массы) и ИНС, обучаемую с использованием как экспериментальных, так и расчетных данных. Такое решение обосновано необходимостью снижения трудоемкости оптимизационных расчетов при сохранении высокой точности.

Во второй главе предложено для расчета выбросов ВВ с ОГ дизеля использовать комплексную математическую модель, основанную на системе дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов рабочего тела и ИНС.

Для определения показателей рабочего процесса дизеля таких как крутящий момент, расход топлива, расход воздуха, максимальное давление и температура в цилиндре двигателя и т.п. – использовалась математическая модель А.А. Малозёмова на основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов рабочего тела. Такая модель создана на базе

феноменологического подхода, она наиболее точно с математической, физической и химической точки зрения описывает процессы, происходящие в КС.

Зависимости между показателями работы дизеля такими как частота вращения коленчатого вала, крутящий момент, цикловая подача топлива, часовой расход воздуха, максимальным давлением в цилиндре двигателя и удельными выбросами ВВ с ОГ находились с помощью ИНС. Такой подход позволил получить относительную простоту расчетов при высокой точности результатов. Наименьшая ошибка при прогнозировании выбросов ВВ с ОГ может быть достигнута при применении многослойной нейронной сети с тремя слоями, количество нейронов в каждом слое 20 шт. В качестве метода обучения предпочтительней использовать двухэтапный метод «с учителем» по заранее известным данным, полученным в ходе экспериментов. На первом этапе обучения рекомендуется применять метод обратного распространения ошибки, на втором – Квази-Ньютоновский метод. Расчетная схема многослойной нейронной сети представлена на рис. 1.



В третьей главе с целью получения данных необходимых для обучения ИНС и подтверждения результатов расчетно-теоретического исследования был проведен эксперимент по оценке выбросов ВВ с ОГ, а также других параметров работы дизеля типа 4ЧН13/15 на различных скоростных режимах. Объектом экспериментального исследования был дизель 4ЧН13/15 про-

изводства ООО «ЧТЗ-Уралтрак» (табл. 1, рис. 2). Испытания дизеля с механическим ТНВД проводились в аккредитованной Росстандартом РФ испытательной лаборатории НП «Сертификационный центр автотракторной техники», также использовались результаты испытаний дизеля 4ЧН13/15 с системой впрыскивания топлива «Common Rail» с электронным управлением, проведенные на фирме AVL. При проведении испытаний применялись аттестованные в установленном порядке приборы и оборудование. Испытания и обработка данных проводились согласно ГОСТ Р 41.96.

Таблица 1

Основные технические характеристики испытанного дизеля
Типа 4ЧН13/15 производства ООО «ЧТЗ-Уралтрак»

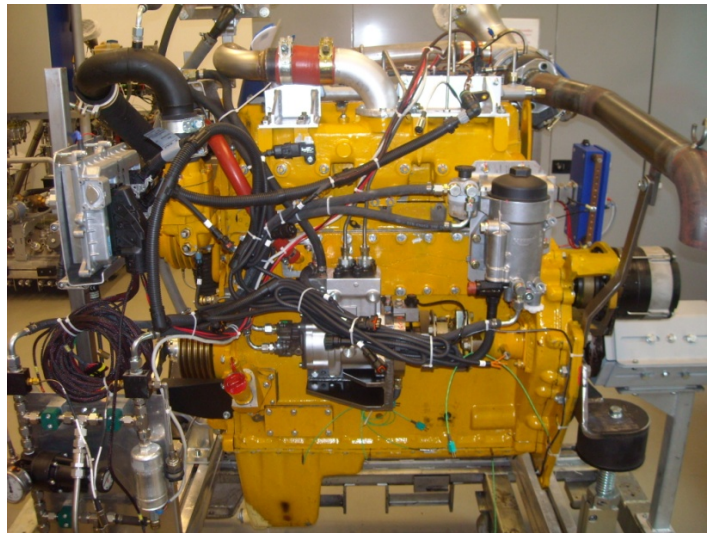
Параметр	Модель двигателя
	4Т371.03.04
Число цилиндров	4
Диаметр поршня, мм	130
Ход поршня, мм	150
Рабочий объем двигателя, л	7,96
Номинальная мощность, кВт	118
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2100
Наличие газотурбинного наддува	ТКР-80-04
Топливный насос	С механическим и электронным управлением
Форсунка	Закрытая с 8-ми дырчатым распылителем

Результаты испытаний представлены в виде трехмерных зависимостей на рис. 3. На основе данных, полученных при испытаниях, была обучена ИНС с целью получения эмпирических зависимостей для определения удельных выбросов ВВ с ОГ дизеля 4ЧН13/15. Адекватность модели проверялась по результатам стендовых испытаний при УОВТ 21 град до ВМТ по 8-ми цикловому режиму согласно ГОСТ Р 41.96.

Проверка адекватности показала, что отклонения между расчетными и экспериментальными данными при определении удельных выбросов вредных частиц не превысили 6%, удельных выбросов углеводородов – 12,5%, удельных выбросов оксидов углерода II – 9,5%, удельных выбросов оксидов азота – 5%. Погрешности измерений и расчетных данных лежат в допустимых пределах, что дает возможность использовать обученную ИНС для целей настоящего исследования.



а)



б)

Рис. 2. Дизель 4Т371: а) с механическим ТНВД, б) с системой впрыскивания топлива «Common Rail» с электронным управлением

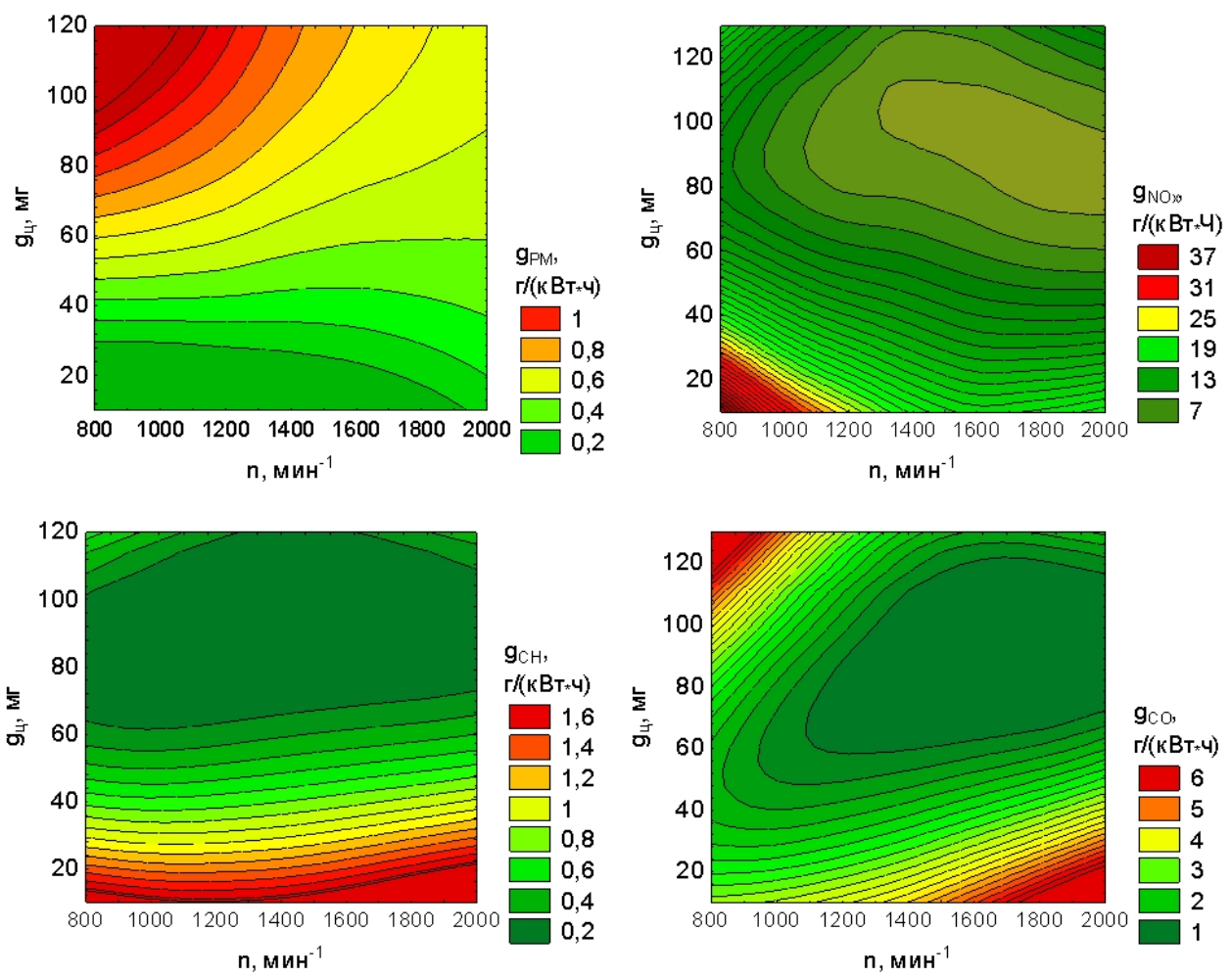


Рис. 3. Зависимость удельных выбросов вредных веществ дизеля типа 4ЧН13/15 от частоты вращения коленчатого вала n , мин^{-1} и цикловой подачи топлива g_u , мг

В четвертой главе проводилась расчетная оценка влияния УОВТ на выбросы ВВ с ОГ дизеля типа 4ЧН13/15 с целью определить оптимальный угол впрыскивания для дизеля, оборудованного механическим топливным насосом, а также найти оптимальные моменты впрыскивания топлива для ЭСВТ, обеспечивающие минимальные выбросы ВВ на стандартных режимах по ГОСТ Р 41.96, с сохранением экономичности и надежности (оцениваемой параметрами тепломеханической напряженности деталей, образующих КС).

В качестве критерия оптимизации для оценки эффективности проводимых изменений и нахождения наилучших значений параметров выбрана минимальная величина *показателя токсичности ОГ F*, рассчитанного с учетом относительного коэффициента агрессивности Ai и требований ГОСТ Р 41.96 к выбросам ВВ с ОГ для дизеля типа 4ЧН13/15.

$$F = \frac{g_{CO} Ai_{CO}}{g'_{CO}} + \frac{g_{NOx} Ai_{NOx}}{g'_{NOx}} + \frac{g_{CH} Ai_{CH}}{g'_{CH}} + \frac{g_{PM} Ai_{PM}}{g'_{PM}}, \quad (1)$$

где g_{CO} , g_{NOx} , g_{CH} и g_{PM} – удельный выброс компонента (г/(кВт·ч)); Ai_{CO} , Ai_{NOx} , Ai_{CH} и Ai_{PM} – относительный коэффициент агрессивности компонента. Для дизелей коэффициенты агрессивности CO , NO_x , CH и PM имеют значения 1; 41,1; 3,16; 200 соответственно; g'_{CO} , g'_{NOx} , g'_{CH} и g'_{PM} – предельно допустимые удельные выбросы токсичного компонента согласно требованиям ГОСТ Р 41.96 к содержанию ВВ в ОГ. Для дизеля 4ЧН13/15 мощностью 118 кВт предельно допустимые выбросы соответственно равны 5; 6; 1; 0,3 (г/(кВт·ч)).

Показатель токсичности F является комплексным критерием оптимизации, помимо нормированных удельных выбросов ВВ с ОГ дизеля он включает в себя агрессивность компонента и требования нормативно-технической документации к данному двигателю. Расчетной моделью служила комплексная математическая модель рабочего процесса на основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов рабочего тела и ИНС. Расчет рабочего процесса моделировал методику 8-ми режимных испытаний по ГОСТ Р 41.96.

Выполненные по предложенной методике расчеты показали, что оптимизированный угол опережения впрыскивания топлива для исследуемого дизеля составляет 24 град ПКВ до ВМТ, при этом достигнуто снижение суммарных выбросов вредных частиц на 8,6%, выбросов углеводородов – на 4%, выбросов оксида углерода II – на 2 %, выбросы оксида азота возросли на 0,4%, параметры топливной экономичности и тепломеханической напряженности дизеля не ухудшились. Определены оптимальные значения углов опережения впрыскивания топлива для топливной аппаратуры с электронным управлением на различных режимах по ГОСТ Р 41.96, что позволило снизить суммарные выбросы вредных частиц на 10,1%, выбросы углеводородов – на 3,4%, выбросы оксида углерода II – на 2%, выбросы оксида азота – на 6,7%, при этом параметры топливной экономичности и тепломеханической напряженности дизеля не ухудшились.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана комплексная математическая модель для определения удельных выбросов вредных веществ с отработавшими газами и других параметров дизеля (экономичности, тепломеханической напряженности), объединяющая модели рабочего цикла поршневых двигателей внутреннего сгорания на основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов рабочего тела и искусственной нейронной сети.

2. Экспериментально подтверждена адекватность комплексной математической модели, расхождение расчетных и экспериментальных данных на режимах, определенных ГОСТ Р 41.96 не превышает для удельных выбросов вредных частиц 6%, для удельных выбросов углеводородов – 12,5%, для удельных выбросов оксидов углерода II – 9,5%, для удельных выбросов оксидов азота – 5%.

3. На основе разработанной комплексной математической модели предложена методика оптимизации конструктивных параметров ДВС. Обоснован критерий оптимизации (показатель токсичности ОГ, F), выбраны гра-

ницы оптимизации (удельный эффективный расход топлива, максимальная температура и давление сгорания топлива, критерий тепломеханической напряженности А.К. Костина).

4. Выполненные по предложенной методике расчеты показали, что оптимизированный угол опережения впрыскивания топлива для исследуемого дизеля составляет 24 град ПКВ до ВМТ, при этом достигнуто снижение суммарных выбросов вредных частиц на 8,6%, выбросов углеводородов – на 4%, выбросов оксида углерода *II* на – 2 %, выбросы оксида азота возросли на 0,4%, параметры топливной экономичности и тепломеханической напряженности дизеля не ухудшились.

5. Определены оптимальные значения углов опережения впрыскивания топлива для топливной аппаратуры с электронным управлением на различных режимах по ГОСТ Р 41.96, что позволило снизить суммарные выбросы вредных частиц на 10,1%, выбросы углеводородов – на 3,4%, выбросы оксида углерода *II* – на 2%, выбросы оксида азота – на 6,7%, при этом параметры топливной экономичности и тепломеханической напряженности дизеля не ухудшились.

Основные результаты диссертационной работы

изложены в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Босяков, В.П. Прогнозирование содержания токсичных веществ в отработавших газах поршневых двигателей внутреннего сгорания / В.П. Босяков, Кукис В.С., Романов В.А. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал / ФГОУ ВПО «НГАСУ» – Новосибирск, – 2011. – №1. – С. 370–372.
2. Босяков, В.П. Методика разработки рекомендаций по оптимизации конструктивных и регулировочных параметров для снижения вредных выбросов с отработавшими газами двигателя / В.П. Босяков и др. // Известия СПГАУ. Научный журнал / СПГАУ. – СПб., 2011. – №24. – С. 227–230.

3. Босяков, В.П. Оптимизация конструктивных и регулировочных параметров дизеля с помощью искусственной нейронной сети / В.П. Босяков, В.С. Кукис, В.А. Сеницын // Вестник УГАТУ. Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета / УГАТУ. – Уфа, 2011. – Т. 15, №6 (46) – С. 94–99.

В других изданиях:

4. Босяков, В.П. Влияние начала открытия впускного и выпускного клапана на токсичность отработавших газов дизеля / В.П. Босяков, В.С. Кукис // Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей : материалы международной научно-технической конференции, СПб, 20–22 апр. 2011 г. / СПГАУ. – СПб., 2011. – С. 42–47.

5. Босяков, В.П. Математические модели определения вредных выбросов на основе феноменологического подхода / В.П. Босяков // Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей : материалы международной научно-технической конференции, СПб, 20–22 апр. 2011 г. / СПГАУ. – СПб., 2011. – С. 21–24.

6. Босяков, В.П. Анализ влияния различных факторов на содержание твердых частиц в отработавших газах дизелей / В.П. Босяков // Научный вестник. Автомобильная техника / Академия военных наук РФ Челябинский филиал, ЧВВАКИУ. – Челябинск, 2009. – №20. – С. 40–44.

7. Босяков, В.П. Исследование влияния различных факторов на образование твердых частиц в цилиндре дизеля / В.П. Босяков, А.В. Копеин // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин: материалы научно-технической конференции, посвященной 40-летию кафедры двигателей / ЧВВАКИУ – Челябинск, 2008. – С. 31–34.

8. Босяков, В.П. Математическая модель рабочего процесса расширительной машины / А. И. Приходько, В.П. Босяков, А.В. Ткаченко, В.В. Руднев // Научный вестник. Автомобильная техника / ЧВВАКИУ. – Челябинск, 2007. – №19. – С. 8–13.

9. Босяков, В.П. Прогнозирование содержания вредных выбросов в отработавших газах дизелей / В.П. Босяков // Морское подводное оружие. Морские подводные роботы – вопросы проектирования, конструирования и технологий. МПО-МС-2011 : материалы XXX отраслевой научно-технической конференции молодых специалистов, СПб., 19–20 мая 2011 г. / ОАО концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор». – СПб., – С. 48–51.
10. Босяков, В.П. Снижение токсичности отработавших газов дизеля путем оптимизации геометрии распылителя / В.П. Босяков // Ползуновский Альманах / АлтГТУ. – Барнаул, 2011. – №2. С. 129–131.
11. Босяков, В.П. Совершенствование алгоритма управления топливной аппаратурой с помощью искусственной нейронной сети / В.П. Босяков, В.С. Кукис // Вестник сибирского отд. АВН / ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ». – Омск, 2011. – №10. – С. 60–64.
12. Босяков, В.П. Математическое моделирование рабочего процесса расширительной машины / Босяков В.П., Приходько А.И., Ткаченко А.В., Руднев В.В., Кукис В.С. // Научный вестник ЧВВАКИУ – Челябинск, – 2007. – №19 – С. 13–26.
13. Босяков, В.П. Требования для испытаний и экспериментальная установка на определение содержания вредных частиц в отработавших газах дизелей / В.П. Босяков // Ремонт. Методические рекомендации по ремонту БТВТ и АТ / 29 КТЦ МО РФ. – СПб., 3 кв. 2008. – №139. – С. 14–16.
14. Bosyakov, V. P. Forecasting of the harmful substances content in the exhaust gases of internal combustion engines by means of the artificial neural network / V.P. Bosyakov, V.S. Kykis, A.A. Malozyemov // Nauka i studia / Przemysl – Poland, – 2011. – № 10 (41) – P. 90-98.

Подписано в печать 18.01.2012. Формат 60x84 1/16

Печать – цифровая. Усл.п.л. 0,93.

Тираж 100 экз. Заказ 2012 - 25

Отпечатано в типографии АлтГТУ,

656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

тел.: (8-3852) 29-09-48

Лицензия на полиграфическую деятельность

ПЛД №28-35 от 15.07.97 г.