Хакимов Рамиль Тагирович. Улучшение основных показателей работы газовой модификации дизеля путем совершенствования рабочего процесса : Дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 СПб., 2006 143 с. РГБ ОД, 61:06-5/2982

Министерство сельского хозяйства РФ

Федеральное государственное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

На правах рукописи

Хакимов Рамиль Тагирович

УЛУЧШЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ГАЗОВОЙ

МОДИФИКАЦИИ ДИЗЕЛЯ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА.

Специальность 05.04.02. - Тепловые двигатели

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук, профессор А.В. Николаенко

Санкт-Петербург

2006

Оглавление

Условные обозначения. 4

Введение. 5

Глава 1. Анализ состояния вопроса и задачи исследований. 10

1.1. Применения природного газа и снижения токсичности отработавших

газов в двигателях внутреннего сгорания. 10

1.2. Регулирование состава газовоздушной смеси. 12

1.3. Регулирование мощности газовой модификации дизеля. 15

1.4. Особенности рабочих процессов 19

1.5. Анализ применения технических средств для систем приготовления

газовоздушной смеси. 25

1.6. Концепция модернизации системы приготовления газовоздушной смеси. 29

1.7. Схема системы приготовления газовоздушной смеси. 32

1.8. Выводы 36

Глава 2. Разработка комплекса модернизированных моделей по расчету физического состояния рабочего тела и рабочего цикла газового двигателя. 39

2.1. Модель физического состояния рабочего тела 39

2.2. Коэффициенты переноса газов моторных топлив. 42

2.3. Математическая модель процесса газообмена при регулируемом

теплообмене на впуске 43

2.4. Методика расчета рабочего процесса газовой модификации дизеля. 56

2.4.1. Термодинамическая модель рабочего цикла. 56

2.4.2. Физическая и математическая модель выгорания и тепловыделения. 60

2.4.3. Скорость распространения пламени. 63

2.4.3.1. Ламинарная скорость распространения пламени. 65

2.4.3.2. Турбулентная скорость распространения пламени. 70

2.4.4. Определение параметров тепловыделения. 75

2.4.4.1 .Влияние характеристик выгорания на показатели рабочего цикла 75

2.5. Выводы 82

Глава 3. Методика экспериментального исследования. 83

з

3.1 Общая методика эксперимента.

3.2. Экспериментальные установки.

3.3 Приборы и оборудование, используемые при исследованиях

3.4. Обработка результатов исследования.

3.5. Индикаторные показатели.

3.6. Оценка погрешностей результатов экспериментального исследования.

3.7. Выводы

Глава 4. Результаты экспериментального исследования рабочего процесса газовой модификации дизеля.

4.1. Программа экспериментов.

4.2.0сновные параметры и характеристики газовой модификации дизеля

4.2.1. Расходы воздуха и газа.

Ф 4.2.2. Коэффициент избытка воздуха.

4.2.3. Эффективный КПД.

4.2.4. Температура отработавших газов.

і\*

4.3. Параметры рабочего цикла.

4.3.1. Максимальное давление цикла.

4.3.2. Скорость нарастания давления.

4.4. Влияние угла опережения зажигания на период воспламенения

4.5. Характеристика тепловыделения.

4.5.1. Показатели первой фазы тепловыделения.

^ 4.5.2. Продолжительность второй фазы сгорания.

4.6. Экологические показатели газовой модификации дизеля.

4.7. Выводы.

Заключение.

Литература.

Приложение.

Условные сокращения.

BMT - верхняя «мертвая» точка;

ПКВ - поворот коленчатого вала;

ДВС - двигатель внутреннего сгорания;

ОГ - отработавшие газы;

XX - холостой ход;

ГА - газовая аппаратура;

КВ - коленчатый вал;

КПД - коэффициент полезного действия;

СУГ - сжиженные углеводородные (нефтяные) газы; КПГ - компримированный природный газ;

ТЭ - топливная экономичность;

НМТ - нижняя «мертвая» точка;

ЭУ - электронное управление;

БЭУ - блок электронного управления;

ОМЧВ - ограничения минимальной частоты вращения; ЧН - частичная нагрузка;

ПМ - полня мощность;

ЭВМ - электронная вычислительная машина;

У03 — угол опережения зажигания;

КШМ — кривошипно-шатунный механизм;

ГД - газовый дозатор;

ГМД - газовая модификация дизеля.

Введение

Одной из основных задач проектирования современного автомобиля является достижение экологической чистоты двигателя. Предельно допустимые выбросы вредных веществ для европейских стран ужесточаются каждые пять лет.

В нашей стране эксплуатируется огромный парк автомобилей, не удовлетво-ряющих требуемым нормам токсичности. Данное положение заставляет искать новые технические решения, позволяющие снизить выбросы вредных веществ без существенного изменения конструкции двигателя. Применение газовых топлив является одним из путей решения данной проблемы.

В настоящее время все большее распространение получают в качестве мо-торных топлив сжиженные углеводородные (нефтяные) газы (СУГ) и природный газ. Контроль выбросов вредных веществ для автомобилей, оснащенных двигате-лями с принудительным зажиганием, выполняется в соответствие с ГОСТ Р 41.83-99, ГОСТ Р 52033-2003 и ГОСТ 17.2.02.06-99.

Наиболее перспективным альтернативным топливом для ДВС, как с эконо-мической, так и с экологической точек зрения является природный газ. При этом одним из важнейших направлений является использование газа в качестве мо-торного топлива для ДВС в целях замены жидких топлив (дизельных и бензи-новых), т.е. для расширения ресурсов топлив в стране и для снижения токсичных выбросов автомобильным транспортом и другими установками с ДВС.

Проведя сравнительную оценку влияния различных топлив на экологические показатели двигателей с принудительным воспламенением относительно тради-ционного топлива - бензина по методикам правил 83.01 ЕЭК ООН и 83.03 ЕЭК ООН можно сделать следующие выводы:

1. Применение КПГ имеет большие резервы по снижению токсичности, чем стандартные виды топлив.

2. Применение КПГ и СУГ в качестве моторного топлива для автотранспорта обеспечивает снижение токсичности, однако не позволяет отказаться от дорого-стоящих систем впрыска топлива и удовлетворять действующим нормам ГОСТ Р 41.83-99 (правила 83.03, ЕЭК ООН).

3. Использование антитоксичных систем является обязательным для дости-жения перспективных норм токсичности.

На природном газе могут работать как бензиновый и дизель, так и другие ви¬ды двигателей. Но накопленный опыт в соответствии с политикой отечественного рынка двигателестроения распространяется только на двигатели, конвертируемые для работы на природном газе. Разработанные газовые модификации на базе стан¬дартных двигателей, обуславливают простату перевода двигателя с одного топ¬лива на другое при минимальных изменениях конструкции.

Для получения адекватного экономического эффекта от конвертации дизеля на газовый рабочий процесс при этом необходимо поддерживать эффективный КПД на заданном уровне. Реализация такой задачи возможна в процессе исследо-вательской работы по оптимизации рабочего процесса газовой модификации ди-зеля (ГМД). Несомненно, что такая оптимизация нуждается в теоретическом обосновании с использованием методов математического моделирования и долж¬на базироваться на понимании процессов происходящих в камере сгорания ГМД, с прогнозированием технических мероприятий с экспериментальной оценкой их эффективности. Так, необходимо представлять суть физических и химических процессов, инициирующих и сопровождающих сгорание топлива при газовом ра-бочем процессе.

Цель исследования заключается в создании физически обоснованной матема-тической модели рабочего процесса и разработке на ее основе направлений со-вершенствования рабочего процесса ГМД. Реализация поставленных целей, в ре-зультате анализа состояния теории газовой модификации дизеля на данном этапе, потребовала решения следующих задач:

1. Проведения углубленных экспериментальных исследований с целью выяв-ления влияния различных факторов на параметры рабочего процесса ГМД.

2. Проведения теоретических исследований для установления рода зависимо-стей от основных параметров, определяющих скорость распространения фронта пламени в газовоздушных смесях.

3. Усовершенствования системы регулирования подачи газа и воздуха для ГМД.

4. Получения зависимостей, позволяющих адекватно описывать характери-стику тепловыделения.

5. Создания комплекса модернизированных математических моделей и алго-ритма расчета рабочего процесса ГМД, и апробирования программы расчета на ПЭВМ.

В диссертационной работе проведен анализ особенностей рабочего процесса ГМД, вариантов его практической реализации, а также модернизированных моде¬лей и методик расчета динамики тепловыделения двигателя. В результате анализа определены основные направления их развития. Газовый двигатель обладает ря¬дом преимуществ по сравнению с дизелем, в том числе меньшим уровнем шума, большим моторесурсом, отсутствие нагара на поршнях и свечах, а также в отра¬ботавших газах, отсутствие детонации (октановое число газа 105-115), более дли¬тельный срок моторного масла (в 1,5,-2 раза), лучшими экологическими показате¬лями, и наконец, топливной экономичностью.

Многообразие схем и конструкций электронного управления подачей топли-ва в ГМД свидетельствуют о сложной взаимосвязи между факторами, опреде-ляющими эффективность процесса, и отсутствии единого подхода к решению проблемы. Противоречивость данных, приводимых различными авторами о рабо-чем процессе и протекании сгорания в газовом двигателе, во многом определяется тем, что в рассмотренных случаях, скорее всего использовались различные виды газовых топлив, а также способы регулирования и виды газовой аппаратуры. Это не позволяет выработать конкретные рекомендации по оптимизации рабочего процесса с применением электронной системы управления при конвертации ди-зельных двигателей для работы на природном газе. Обзор математических моде-лей газового рабочего процесса показал, что работы в этом направлении ведутся с недостаточной интенсивностью, что связано со сложностью описания процесса. Сформулированы задачи исследования (гл. 1).

Во второй главе предложен комплекс модернизированных моделей и мето-дик расчета рабочего процесса газовой модификации дизеля. Представлена мо-дель физического состояния рабочего тела, а также модернизированная модель процесса газообмена при регулируемом теплообмене на впуске газовой модифи-кации дизеля. Рассмотрено влияние различных физических факторов, опреде-ляющих сгорание в цилиндре двигателя. Выбрана формула для описания динами¬ки тепловыделения ГМД. Получены зависимости параметров характеристик теп¬ловыделения при использовании природного газа и режима работы двигателя. Ис¬следованы пути решения по определению рационального способа регулирования ГМД.

Экспериментальному исследованию рабочего процесса ГМД посвящена тре-тья глава. Сформулированы цели экспериментальных исследований и методика их проведения. Для реализации экспериментов разработана экспериментальная установка, позволяющая установить зависимость основных показателей работы двигателя от режимных и регулировочных параметров, а также оценить влияние различных факторов на индикаторный КПД, угол опережения зажигания, макси-мальное давление сгорания и скорость повышения давления. Для исследования параметров рабочего процесса газового двигателя разработан и реализован ин-формационно-измерительный комплекс на базе ПЭВМ. Произведена оценка по-грешности измерений.

В заключительной четвертой главе определено адекватность результатов рас-четных и экспериментальных данных, в ходе проведенных исследований. Приве-дены количественные оценки влияния отдельных величин и факторов на парамет-ры рабочего процесса. Получены зависимости характеристик тепловыделения от долей теплоты газа и режимов работы ГМД. Выполнена сравнительная оценка эффективности работы ГМД в зависимости от сочетания различных входных па-раметров.

Научную новизну работы представляет:

1. комплекс моделей и методику расчета для обоснования и разработки модернизированной системы управления рабочим процессом ГМД.

2. Сформулированная физически обоснованная модель сгорания и теп-ловыделения в ГМД; предложенные зависимости для определения ее параметров.

Практическая значимость:

1. Рекомендации по реализации результатов расчетных теоретических и экс-периментальных исследований.

2. Рекомендации по улучшению показателей газовой модификации при рабо¬те по нагрузочной и внешней скоростной характеристик.

3. Модернизированная система электронного управления рабочим процессом ГМД.

4. Зависимости, полученные путем экспериментально-теоретического иссле-дования, могут быть использованы для расчетного прогнозирования параметров газового двигателя и выбора рациональных регулировочных решений.

5. Усовершенствованная технологическая схема и параметры ее элементной

базы, а также модернизированная структура системы электронного управления составом газовоздушной смеси использованы при разработке предложений в эс-кизный проект газопоршневого двигателя 12ГЧН18/20 в ОАО «Звезда» г. Санкт- Петербург. ,

На защиту выносятся:

1. Комплекс модернизированных математических моделей протекания рабо-чего процесса ГМД.

2. Модернизированная система электронного управления ГМД.

3. Результаты экспериментального исследования специфики рабочих процес-сов в газовом двигателе.

4. Физически обоснованные и экспериментально подтвержденные зависимо-сти параметров тепловыделения в газовом двигателе от исходных условий в ци-линдре.

5. Полученные зависимости регулирования состава газовоздушной смеси и угла опережения зажигания топлива ГМД.

По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ.

Заключение.

Научная новизна работы представляет:

1. комплекс модернизированных моделей и методику расчета для обоснова­ния модернизированного управления рабочим процессом газового двигателя.
2. Сформулированная физически обоснованная модель сгорания и тепловы­деления в газовом двигателе и предложены зависимости для определения ее ис­ходных параметров.

Практическая значимость:

1. Рекомендации по реализации результатов расчетных теоретических и экспериментальных исследований.
2. Рекомендации по улучшению показателей газовой модификации при ра­боте по винтовой и внешней скоростной характеристик.
3. Модернизированная система электронного управления рабочим процес­сом газового двигателя.
4. Зависимости, полученные путем экспериментально-теоретического ис­следования, могут быть использованы для расчетного прогнозирования парамет­ров газового двигателя и выбора рациональных регулировочных решений.



1. Усовершенствованная технологическая схема и параметры ее элементной базы, а также модернизированная структура системы электронного управления составом газовоздушной смеси использованы при разработке предложений в эс­кизный проект газопоршневого двигателя 12ГЧН18/20 в ОАО «Звезда».

В результате исследований, которое включали: анализ схем, конструкций и управления газовыми двигателями 8ГЧ12/12 и 12ГЧН18/20, методов их исследо­вания, существующих данных по рабочим процессам, разработку и создание экспериментальной установки, можно сделать следующие выводы:



1. Установлено, что длительность движения фронта пламени достаточно полно описывается совокупностью параметров, которые, согласно теории горе­ния, определяют скорость его распространения.
2. На основе теоретических положений и результатов эксперимента получе­но математическое описание процессов воспламенения и сгорания в газовом

двигателе, учитывающее турбулентную скорость распространения фронта пла­мени по углу поворота коленчатого вала, при этом предложены методы опреде­ления основных его параметров.

1. Комплекс показателей - коэффициент избытка воздуха (а), средняя тем­пература за время распространения сгорания в газовоздушной смеси (7), частота вращения КВ (и), объем поступающей в цилиндр газовоздушной смеси *(У),* а так­же зависимости, полученные в ходе исследований, описывают характер протека­ния рабочего процесса; при этом изменение скорости распространения фронта пламени внутри цилиндра, определяется информационно-измерительным ком­плексом, выражая полученные значения в единицах угла ПКВ.
2. Предложенная модернизированная схема системы электронного управле­

ния с применением дополнительного информационно-измерительного канала, обеспечивает возможность оценки основных параметров и характеристики пока­зателей рабочего процесса газового двигателя на основании комплексных пока­зателей *(а, Т, п, V).* -

1. В результате расчетно-теоретических исследований установлено, что сго­рание в газовом двигателе может быть представлено как совокупность разви­вающихся процессов - воспламенения, быстрого сгорания части газового топли­ва в воздушной среде и распространения фронта турбулентного пламени от оча­га воспламенения до стенки камеры сгорания. Определяющим параметром для описания фазы сгорания является - длительность движения фронта пламени, вы­раженная в углах поворота коленчатого вала. Установлено, что с увеличением *а* от 1 до 1,35, определяемый угол ПКВ (^) характеризует увеличение скорости распространения фронта пламени внутри цилиндра на 25...30%.

*4*

1. Результаты экспериментальных исследований экологических и топливно­экономических показателей характеризуют преимущество работы исследуемого двигателя 8ГЧ12/12, при этом выбросы *NOx* снижаются на 3%, *СО -* 7,5 *%,* уро­вень *СН* уменьшается при использовании сравнительно простого окислительно­го нейтрализатора на 10 - 15%, в сравнении с требованиями правил №49-02 (Ев­ро-2). Удельный расход топлива (ge) исследуемого двигателя 8ГЧ12/12 уменьша­ется на 7,2..Л5% по сравнению с двигателем 12ГЧН18/20 и на 1..Л,5% с прото­типом 8ГЧ12/12.
2. При использовании полученной математической модели рабочего про­цесса, с учетом результатов экспериментов по оценке факторов, определяющих токсичность отработавших газов двигателя, определен рациональный способ ре­гулирования газовых двигателей, обеспечивающий обоснованный компромисс между требованиями максимального КПД двигателя и ограничениями, наклады­ваемыми необходимостью минимизации токсичности отработавших газов иссле­дуемого двигателя.
3. Усовершенствованная технологическая схема и параметры ее элементной базы, а также модернизированная структура системы электронного управления составом газовоздушной смеси использованы при разработке предложений в эс­кизный проект газопоршневого двигателя 12ГЧН18/20 в ОАО «Звезда»г. Санкт- Петербург.
4. Полученные результаты подтверждают достижение цели диссертацион­

ной работы: улучшение основных показателей газовой модификации дизеля пу­тем совершенствования рабочего процесса.