

СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ И ГОРЕНИЕ В ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ С ЗАКРУТКОЙ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА

© 2007 Р. Д. Еникеев

Уфимский государственный авиационный технический университет

В статье приведены данные, иллюстрирующие влияние вихревого движения заряда на показатели тепловых двигателей. Показана возможность регулирования вихревого движения заряда в цилиндре двигателя с двухконтурной системой впуска. Приведены данные экспериментов, подтверждающие улучшение эффективных показателей и токсичности двигателя на частичных режимах без ухудшения наполнения и иных показателей двигателя по внешней скоростной характеристике.

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) как с принудительным воспламенением, так и с воспламенением от сжатия, отличаются тем, что рабочее тело непосредственно связано с производством работы в пределах одной и той же рабочей камеры, где происходит сжатие, горение и расширение. Поле скоростей течения рабочего тела – наиболее существенный фактор, управляющий процессом горения. В двигателях с принудительным воспламенением оно определяет скорость фронта горения, в дизелях – смешение топлива с воздухом и скорость горения. Скоростное поле влияет на механизмы многих важных процессов переноса, включая интенсивность отвода теплоты к стенкам цилиндра. Создание высокотурбулизированного течения, необходимого для горения, прямо связано с наполнением двигателя и, следовательно, влияет на его максимальную мощность.

Обеспечение высокого наполнения ДВС всегда являлось актуальной задачей. В работах Рудого Б. П. [1] показано, что для получения предельного для данной степени сжатия коэффициента наполнения наиболее эффективна схема газоздушного тракта, содержащая индивидуальные для каждого цилиндра настроенные впускные и выпускные патрубки и ресиверы, отделяющие настроенные и ненастроенные участки впускной и выпускной систем. Эффективность этой схемы определяется максимальным использованием волновых явлений для целей газодинамического наддува и очистки. Схема доказала свою эффективность в многочисленных конструкциях и является доминиру-

ющей, по крайней мере, в части систем впуска двигателей с внутренним смесеобразованием, а также двигателей с распределенным впрыском топлива.

Многообразие требований, предъявляемых к современным ДВС наряду с требованием высокого наполнения, вызывают необходимость развития этой схемы. В настоящей работе решалась задача создания требуемого характера внутрицилиндрового течения воздушного заряда для обеспечения экономичности двигателя в поле режимов и удовлетворения нормам токсичности.

Течение газа в рабочей камере. Совершенство преобразования химической энергии топлива в механическую работу определяется совершенством процессов сгорания, протекающих в норме и в условиях ДВС при малом объеме камеры сгорания, при положении поршня вблизи верхней мертвой точки. Сама возможность завершения сгорания рабочей смеси в течение миллисекунд определяется как фактором турбулизации рабочего тела, так и фактором наличия в нем среднего движения. При компактной геометрии рабочей камеры на такте сжатия среднее движение смеси может быть описано как закрученное течение в объеме, обусловленное, в основном, остаточным количеством движения смеси или воздуха, попавших в цилиндр при впуске.

Внутрицилиндровое течение формируется под влиянием струй свежей смеси (воздуха), поступающего в цилиндр в процессе впуска, и в той или иной степени модифицируется на стадии сжатия. Временной срез

поля этого течения на момент завершения процесса газообмена или на момент начала сгорания будем именовать «газодинамическим состоянием заряда» (ГДСЗ). Для упрощенного описания ГДСЗ в этом течении выделяют две составляющие: осредненное (закрученное, вихревое течение заряда как целого) и турбулентные движения (более мелко-масштабные хаотические движения, которые накладываются на осредненное течение). Количественно ГДСЗ в целом характеризуют интегральные величины кинетической энергии или момента количества движения осредненной составляющей движения и турбулентной кинетической энергии – для турбулентной составляющей. Принимая грубо осредненное движение чисто вращательным, можно оперировать единственной интегральной характеристикой этого движения – величиной момента количества движения. Более удобным является представление той же величины безразмерным вихревым отношением Ω , которое определяется как отношение угловой скорости вращения «вихря» в рабочей камере числу оборотов коленчатого вала двигателя.

Большое число работ посвящено исследованиям процесса сгорания, в которых определяется влияние ГДСЗ на скорость горения или на продолжительность сгорания, выраженную в градусах угла поворота коленчатого вала ДВС. Такие исследования проводились непосредственно на двигателях, на модельных установках и методами численного моделирования. Исследованиями выявлено, что характер осредненного течения и уровень турбулизации оказывают влияние на протекание турбулентного сгорания в ДВС и, тем самым, во многом определяют экономические, эксплуатационные и экологические показатели.

Экспериментальное исследование. Анализ возможных способов создания вихревого движения заряда в цилиндре показал, что существующие в настоящее время методы, такие как заширмление клапанов, спиральные впускные каналы, крыльчатки и т.д., не позволяют изменять степень завихрения заряда при заданном расходе воздуха и снижают наполнение на режимах внешней ско-

ростной характеристики. В настоящем исследовании применена двухконтурная система впуска [2], в которой подача воздуха осуществляется двумя потоками, один из которых выполнен оптимальным по критерию наполнения, а второй, стыкуемый тангенциально с первым вблизи впускных клапанов, позволяет создавать регулируемое вихревое движение заряда.

Эксперименты ставили целью показать возможность снижения удельного эффективного расхода топлива и токсичности отработавших газов двигателя с двухконтурной системой впуска за счет изменения интенсивности вихревого движения заряда. Кроме того, ставилась задача показать, что двухконтурная система впуска не ухудшает показатели двигателя по внешней скоростной характеристике. Для проведения экспериментов создана исследовательская установка на базе бензинового двигателя с распределенным впрыском топлива. Эксперимент заключался в снятии серии регулировочных характеристик по составу смеси и углу опережения зажигания, а также внешних скоростных характеристик двигателя в базовой комплектации и двигателя в комплектации двухконтурной системой впуска.

Система впуска базового двигателя и основной контур двухконтурной системы впуска выполнены в соответствии со схемой, оптимальной по критерию наполнения [1]. Изменение степени завихрения в двигателе с двухконтурной системой впуска обеспечивалось изменением соотношения расходов воздуха через контура при неизменном суммарном расходе воздуха через двигатель. Таким образом, двигатель в базовой комплектации соответствует двигателю с двухконтурной системой впуска с нулевой степенью вихреобразования.

Регулировочные характеристики по составу смеси и углу опережения зажигания снимались на различных режимах от глубокого дросселирования до полного открытия дроссельной заслонки. Регулировочные характеристики по углу опережения зажигания снимались при составах смеси, соответствующих минимальным удельным эффективным расходам топлива. Внешние скоростные ха-

рактические снимались при оптимальных регулировках состава смеси и угла опережения зажигания на каждой точке характеристики. Анализ характеристик показал:

1. Наибольший эффект от применения двухконтурной системы впуска наблюдается на режимах глубокого дросселирования и низких частотах вращения вала двигателя при максимальном завихрении заряда в цилиндре. На этих режимах вялая внутрицилиндровая газодинамика базового двигателя компенсируется интенсивным вихреобразованием в двухконтурной системе. На каждом режиме может быть найдено соотношение расходов воздуха через контура, дающее наибольший эффект по расходу топлива и токсичности отработавших газов.

2. Диапазон устойчивой работы двигателя на режимах глубокого дросселирования при применении двухконтурной системы впуска расширяется в зону бедных смесей более чем на 20 %.

3. Минимальные удельные эффективные расходы топлива по регулировочным характеристикам по составу смеси при применении двухконтурной системы впуска снижаются на 11-22 % на режимах глубокого дросселирования и на 0-5 % на частичных режимах. Минимумы удельных эффективных расходов топлива при применении двухконтурной системы впуска смещаются в сторону обеднения на 7-10 % на режимах глубокого дросселирования и на 5-7 % на частичных режимах.

4. При работе двигателя с коэффициентами избытка воздуха, соответствующими минимальным значениям удельных эффективных расходов топлива, выбросы оксида углерода при применении двухконтурной системы впуска снижаются на 60-70 % на режимах глубокого дросселирования и частичных режимах, а выбросы углеводородов - на 2-18 %. Минимальные значения выбросов оксида углерода и углеводородов по регулировочным характеристикам по составу смеси при применении двухконтурной системы впуска меняются мало. Однако минимумы выбросов углеводородов при применении двухконтурной системы впуска смещаются в

сторону обеднения на 6-10 % на режимах глубокого дросселирования.

5. Минимальные удельные эффективные расходы топлива по регулировочным характеристикам по углу опережения зажигания при применении двухконтурной системы впуска меняются мало. Минимумы удельных эффективных расходов топлива при применении двухконтурной системы впуска смещаются в сторону меньших углов опережения зажигания на 20-40 %, что свидетельствует об увеличении скоростей горения.

6. Эффективные показатели двигателя и токсичность отработавших газов на режимах внешней скоростной характеристики при применении двухконтурной системы впуска не ухудшаются. Максимальный крутящий момент двигателя возрастает на 1,5 %. Коэффициент наполнения, минимальный удельный эффективный расход топлива и токсичность отработавших газов меняются мало.

Улучшение эффективных показателей и токсичности двигателя на режимах глубокого дросселирования и частичных режимах, устойчивая работа двигателя на бедных смесях могут быть объяснены интенсивным вихреобразованием в двухконтурной системе, сохраняющимся в цилиндре к моменту воспламенения и горения. Следствием этого должно быть уменьшение цикловой невоспроизводимости. Определение цикловой невоспроизводимости осуществлялось индцированием базового двигателя и двигателя с двухконтурной системой впуска. Индцировались двигатель в базовой комплектации и двигатель с разделенной системой впуска с промежуточной степенью вихреобразования. Обработка данных заключалась в определении коэффициента цикловой невоспроизводимости, рассчитываемого как отношение среднего квадратичного отклонения максимального давления к среднему значению максимального давления за определенное количество циклов. Анализ данных показал, что на режимах глубокого дросселирования и частичных режимах коэффициент невоспроизводимости циклов при применении двухконтурной системы впуска уменьшается на 26-48 %.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Двухконтурная система впуска позволяет создать вихревое движение заряда во впускной трубе двигателя. Вихревое движение заряда сохраняется в цилиндре двигателя к моменту воспламенения и горения.

2. Интенсивность вихревого движения заряда, определяемая коэффициентом закрутки, при заданной геометрии системы впуска определяется соотношением расходов воздуха через контуры.

3. Для каждого режима работы двигателя, определяемого частотой вращения вала и расходом воздуха, может быть определена оптимальная интенсивность вихревого движения заряда

4. Завихрение заряда на впуске приводит к существенному, на десятки процентов, улучшению эффективных показателей и токсичности двигателя на режимах глубокого

дросселирования и частичных режимах. Улучшение показателей вызвано увеличением скоростей горения и снижением цикловой невоспроизводимости.

5. Улучшение показателей двигателя на режимах глубокого дросселирования и частичных режимах не сопровождается ухудшением наполнения и иных показателей двигателя по внешней скоростной характеристике.

Список литературы

1. Рудой Б. П. Оптимальная схема газозводушного тракта четырехтактного двигателя внутреннего сгорания // ИВУЗ: Машиностроение. - № 9. - 1976.

2. Еникеев Р. Д. Газовоздушный тракт четырехтактного ДВС // МГТУ. Международный симпозиум «Образование через науку». Материалы докладов секции «Двигатели внутреннего сгорания». Отдельный выпуск. - Москва, 2005. - С. 107.