

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ВПУСКА

Р.Д. Еникеев

В статье 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.

Скоростное поле течения внутри цилиндра – наиболее существенный фактор, управляющий процессом горения. В двигателях с искровым зажиганием оно определяет скорость фронта горения, а также смешение топлива с воздухом и скорость горения в дизелях. Скоростное поле влияет на механизмы многих важных процессов переноса, включая интенсивность отвода теплоты к стенкам цилиндра. Через наполнение оно влияет на мощность. Вопросам исследования процесса сгорания с целью определения влияния газодинамического состояния заряда, в том числе вихревого движения, на скорость сгорания посвящено большое число работ [1, 2 и др.].

Вихревое движение заряда (закрутка) определяется как организованное вращение заряда вокруг оси цилиндра. Закрутка образуется как следствие ввода в цилиндр потока, обладающего начальным моментом количества движения. Хотя из-за трения имеется некоторое ослабление закрутки, образовавшийся во время впуска вихрь продолжает существовать при сжатии, сгорании и даже при расширении. Закрутка используется для ускорения перемешивания топлива с воздухом и повышения интенсивности турбулентности для увеличения скорости сгорания. Ранними исследованиями установлено, что существует оптимальная величина завихрения заряда, при которой индикаторный к.п.д. имеет максимальное значение. Такой вывод был впервые сделан Рикардо.

Анализ возможных способов создания вихревого движения заряда в цилиндре показал, что существующие в настоящее время методы (заширмление клапанов, спиральные впускные каналы, крыльчатки и т.д.) обладают теми недостатками, что, во-первых, не позволяют изменять степень завихрения заряда при заданном расходе воздуха и, во-вторых, снижают наполнение на режимах внешней скоростной характеристики.

Предметом настоящей статьи является двухконтурная система впуска [3], в которой подача воздуха осуществляется двумя пото-

ками, один из которых выполнен оптимальным по критерию наполнения, а второй, стыкуемый тангенциально с первым вблизи впускных клапанов, позволяет создавать регулируемое вихревое движение заряда. Исследование возможности двухконтурной системы впуска создавать и регулировать вихревое движение заряда производилось на безмоторных экспериментальных установках. Результаты этих экспериментов, не представленные в данной статье, показали:

1. Подтверждена гипотеза о возможности создания вихревого движения заряда в рабочей камере двигателя системой впуска с разделением потоков.

2. Система впуска с разделением потоков позволяет регулировать интенсивность вихревого движения во впускном канале и в рабочей камере двигателя в широком диапазоне, что позволяет реализовать наиболее выгодную интенсивность вихревого движения для каждого режима работы двигателя.

Для подтверждения результатов безмоторных экспериментов и исследования влияния вихревого движения на эффективные показатели двигателя и токсичность отработавших газов проведены моторные эксперименты. Цель экспериментов:

1. Показать возможность снижения удельного эффективного расхода топлива и токсичности отработавших газов двигателя с двухконтурной системой впуска за счет изменения интенсивности вихревого движения заряда.

2. Показать, что двухконтурная система впуска не ухудшает показатели двигателя по внешней скоростной характеристике.

Для проведения экспериментов создана исследовательская установка на базе двигателя УЗАМ 3317 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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ВПУСКА

впуска. Система впуска базового двигателя и основной контур двухконтурной системы впуска выполнены оптимальными по критерию наполнения. Двигатель в базовой комплектации соответствует двигателю с двухконтурной системой впуска с нулевой степенью вихреобразования (основной контур открыт, малый контур закрыт полностью).

Изменение степени завихрения в двигателе с двухконтурной системой впуска обеспечивалось изменением соотношения расходов воздуха через контура при неизменном суммарном расходе воздуха через двигатель. Двигатель в комплектации двухконтурной системой впуска испытывался с максимальной степенью вихреобразования при подаче воздуха только через малый контур (основной контур закрыт, малый контур открыт полностью) и с промежуточной степенью вихреобразования при подаче воздуха через оба контура (основной и малый контура приоткрыты).

Регулировочные характеристики по составу смеси и углу опережения зажигания снимались на различных режимах от глубокого дросселирования до полного открытия дроссельной заслонки. Регулировочные характеристики по составу смеси приведены на рис. 1. Регулировочные характеристики по углу опережения зажигания (рис. 2.) снимались при составах смеси, соответствующих минимальным удельным эффективным расходам топлива.

Внешние скоростные характеристики снимались при оптимальных регулировках состава смеси и угла опережения зажигания на каждой точке характеристики. Двигатель в комплектации двухконтурной системой впуска испытывался при подаче воздуха через оба контура (основной и малый контура открыты полностью). Внешние скоростные характеристики приведены на рис. 3. Здесь же для сравнения приведены внешние скоростные характеристики испытуемого двигателя при комплектации его серийной карбюраторной системой впуска.

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.

2. На каждом режиме может быть найдено соотношение расходов воздуха через контура, дающее наибольший эффект по расходу топлива и токсичности отработавших газов.

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

4. 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.

5. 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.

6. При работе двигателя с коэффициентами избытка воздуха, соответствующими минимальным значениям удельных эффективных расходов топлива, выбросы углеводородов при применении двухконтурной системы впуска снижаются на 2-18 % на режимах глубокого дросселирования и частичных режимах.

7. 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.

8. 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.

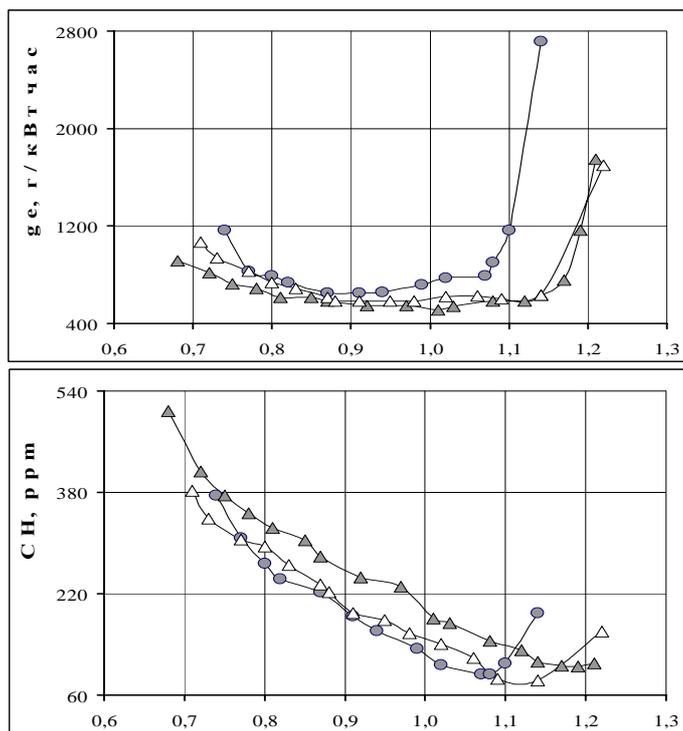


Рис. 1. Регулировочные характеристики по составу смеси $n = 1240 \text{ мин}^{-1}$, $G_v = 13 \text{ кг/ч}$: ● – двигатель базовый; ▲ – двигатель с двухконтурной системой впуска, подача воздуха через малый контур; Δ – двигатель с двухконтурной системой впуска, подача воздуха через оба контура

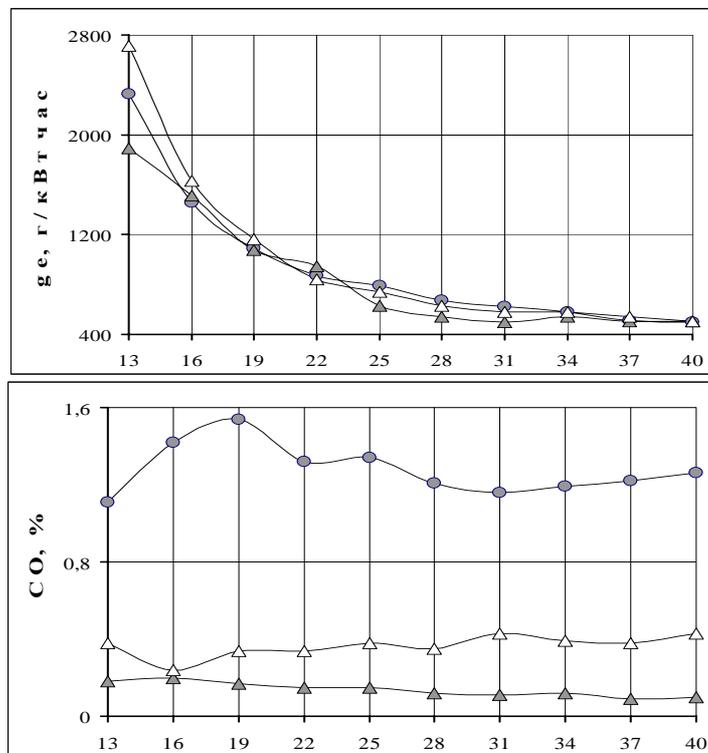


Рис. 2. Регулировочные характеристики по у.о.з. $n = 1240 \text{ мин}^{-1}$, $G_v = 13 \text{ кг/час}$, $\alpha = 1,01$: ● – двигатель базовый; ▲ – двигатель с двухконтурной системой впуска, подача воздуха через малый контур; Δ – двигатель с двухконтурной системой впуска, подача воздуха через оба контура

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ВПУСКА

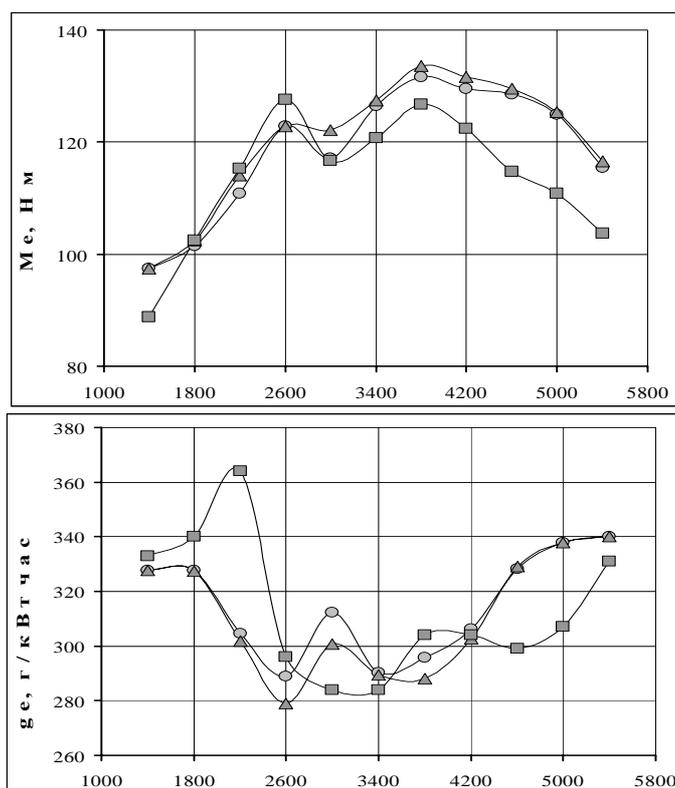


Рис. 3. Внешние скоростные характеристики: ● – двигатель базовый (с впрыском и настроенной системой впуска); ▲ – двигатель с впрыском и настроенной двухконтурной системой впуска; ■ – карбюраторный двигатель

9. 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.

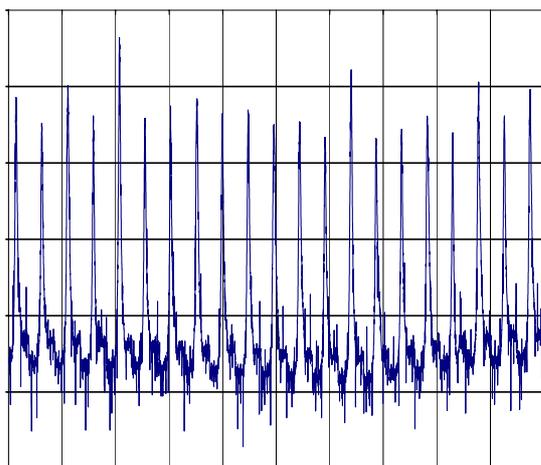
Улучшение эффективных показателей и токсичности двигателя на режимах глубокого дросселирования и частичных режимах, устойчивая работа двигателя на бедных смесях могут быть объяснены интенсивным вихреобразованием в двухконтурной системе, сохраняющимся в цилиндре к моменту воспламенения и горения. Следствием этого должно быть уменьшение цикловой невоспроизводимости. Определение цикловой невоспроизводимости осуществлялось индицированием базового двигателя и двигателя с двухконтурной системой впуска.

Индицирование производилось измерительным комплексом на базе аппаратуры фирмы AVL. Комплекс содержит пьезоусилитель AVL 3066A02 и датчик-свечу ZF41/GU12P. К датчику-свече подсоединяет-

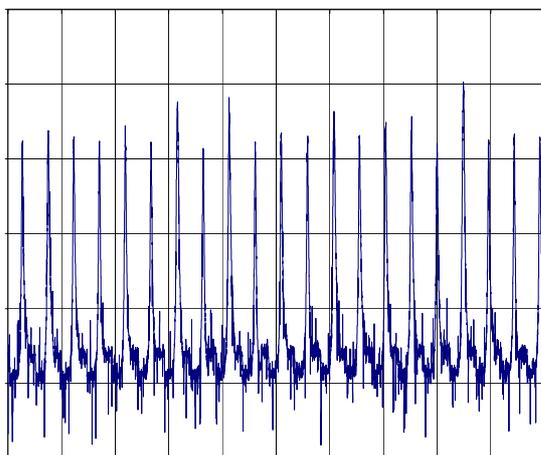
ся высоковольтный провод зажигания и измерительный кабель для подачи сигнала к пьезоусилителю. Пьезоусилитель подключается к ЭВМ через аналого-цифровой преобразователь. Для снятия и обработки первичных данных использована программа ADINT.002.

Индицировались двигатель в базовой комплектации и двигатель с разделенной системой впуска с промежуточной степенью вихреобразования (основной контур открыт наполовину, дополнительный контур открыт полностью). Двигатель в базовой комплектации соответствует двигателю с разделенной системой впуска с нулевой степенью вихреобразования (основной контур открыт, дополнительный контур закрыт полностью). Для каждого режима и каждого варианта комплектации двигателя проводилось пятикратное измерение по десять тысяч точек. Обработка данных заключалась в определении коэффициента цикловой невоспроизводимости $k_{цн}$, рассчитываемого как отношение среднего квадратичного отклонения максимального давления к среднему значению максимального давления за определенное количество циклов. Анализ полученных данных показал,

что на режимах глубокого дросселирования и частичных режимах коэффициент невоспроизводимости циклов при применении двухконтурной системы впуска уменьшается на 26-48 %. На рис. 4 представлены индикаторные диаграммы базового двигателя и двигателя с двухконтурной системой впуска на режиме глубокого дросселирования ($n = 1240 \text{ мин}^{-1}$, $G_{\text{возд}} = 13 \text{ кг/час}$, у.о.з. = 31 град. п.к.в.) при работе с коэффициентом избытка воздуха, равном единице. На данном режиме уменьшение коэффициента невоспроизводимости циклов составило 42 %.



а)



б)

Рис. 4. Индикаторные диаграммы. $n = 1240 \text{ мин}^{-1}$, $G_{\text{в}} = 13 \text{ кг/час}$, $\alpha = 1,0$: а) двигатель базовый, $k_{\text{цн}} = 0,1548$; б) двигатель с двухконтурной системой впуска, $k_{\text{цн}} = 0,0912$

Выводы

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Двухконтурная система впуска позволяет создать вихревое движение заряда во впускной трубе двигателя.

2. Вихревое движение заряда сохраняется в цилиндре двигателя к моменту воспламенения и горения.

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

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

5. 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.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов В.П., Соколик А.С. Пределы воспламенения в турбулизированных газовых смесях. – ДАН СССР, 1961.

2. Arcoumanis C., Bicen A.F., Whitelaw J.H. Squish and Swirl-Squish Interaction in Motored Model Engines // ASME Journal of Fluids Engineering. – Vol. 105. – 1983. – P. 105–112.

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