

ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ РЕЦИРКУЛИРУЕМЫХ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

М.А. Мацулевич, Е.А. Лазарев

Определены характеристики выгорания топлива и кинетические константы процесса сгорания. Выполнен расчетно-экспериментальный анализ параметров процесса сгорания и показателей рабочего цикла при использовании рециркуляции отработавших газов с промежуточным охлаждением на разных нагрузках бензинового двигателя. Отмечается эффективность рециркуляции отработавших газов в повышении топливной экономичности на средних нагрузках двигателя.

Ключевые слова: рециркуляция отработавших газов, процесс сгорания, характеристики выгорания топлива, рабочий цикл, бензиновый двигатель, нагрузка.

Введение

Повышение топливной экономичности на частичных режимах является актуальным направлением совершенствования бензиновых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) [1, 2]. Одним из технических решений, реализующих это направление, является использование рециркуляции отработавших газов (РОГ). Смешение отработавших газов со свежим зарядом, изменяя его физические свойства, оказывает влияние на процессы наполнения цилиндра и сгорания топлива. Известно, что особенно эффективна рециркуляция при предварительном охлаждении отработавших газов. Для оценки влияния рециркуляции предварительно охлажденных отработавших газов на показатели рабочего цикла необходим анализ характеристик выгорания с определением кинетических констант: показателя характера и продолжительности сгорания топлива [3].

Основные положения методики исследования

Определение параметров процесса сгорания и показателей рабочего цикла при рециркуляции отработавших газов производилось в процессе стендовых испытаний двигателя ВАЗ 21124, работающего на режимах нагрузочных характеристик. Испытательный стенд включает асинхронный электрический тормоз, ротор которого соединен с коленчатым валом двигателя, пульт управления нагрузочным устройством и двигателем, измерительную и регистрирующую аппаратуру, датчики, установленные в элементах двигателя, и систему индицирования давления газа в цилиндре фирмы AVL.

Испытуемый двигатель оборудован системой рециркуляции отработавших газов, включающей в себя трубопроводы подвода и отвода отработавших газов, регулируемый промежуточный охладитель типа «газ-жидкость», клапан регулирования количества рециркулируемых отработавших газов и электронный блок управления. Последний позволяет изменять угол опережения зажигания, состав смеси и другие параметры в режиме реального времени.

Полученные в результате индицирования экспериментальные индикаторные диаграммы давления впоследствии подвергались термодинамическому анализу с целью определения характеристик выгорания и кинетических констант процесса сгорания топлива при наличии и отсутствии рециркуляции отработавших газов. Термодинамический анализ экспериментальных индикаторных диаграмм давления в цилиндре выполнялся по методике, разработанной на кафедре ДВС ЮУрГУ и реализованной в программе ANAG.

Результаты расчетно-экспериментального анализа

Регулирование мощности в бензиновых двигателях осуществляется с помощью изменения положения дроссельной заслонки во впускном тракте. Наличие дроссельной заслонки при работе двигателя на средних и малых нагрузках приводит к существенному уменьшению коэффициента наполнения η_v цилиндра свежим зарядом. На этих режимах увеличивается работа, затраченная на

Краткие сообщения

совершение насосных ходов, которая составляет значительную долю общих механических потерь в двигателе.

Представляет интерес способ регулирования мощности двигателя изменением степеней открытия дроссельной заслонки $\phi_{дз}$ и рециркуляции предварительно охлажденных отработавших газов $k_{рог}$ с корректировкой угла опережения зажигания θ . При этом температура $t_{рог}$ рециркулируемых отработавших газов в процессе эксперимента поддерживалась равной $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В ходе работы выполнен расчетно-экспериментальный анализ эффективности такого способа регулирования мощности бензинового двигателя. Экспериментальные индикаторные диаграммы давления и расчетные температуры газов в цилиндре на различных режимах нагружения двигателя представлены на рис. 1.

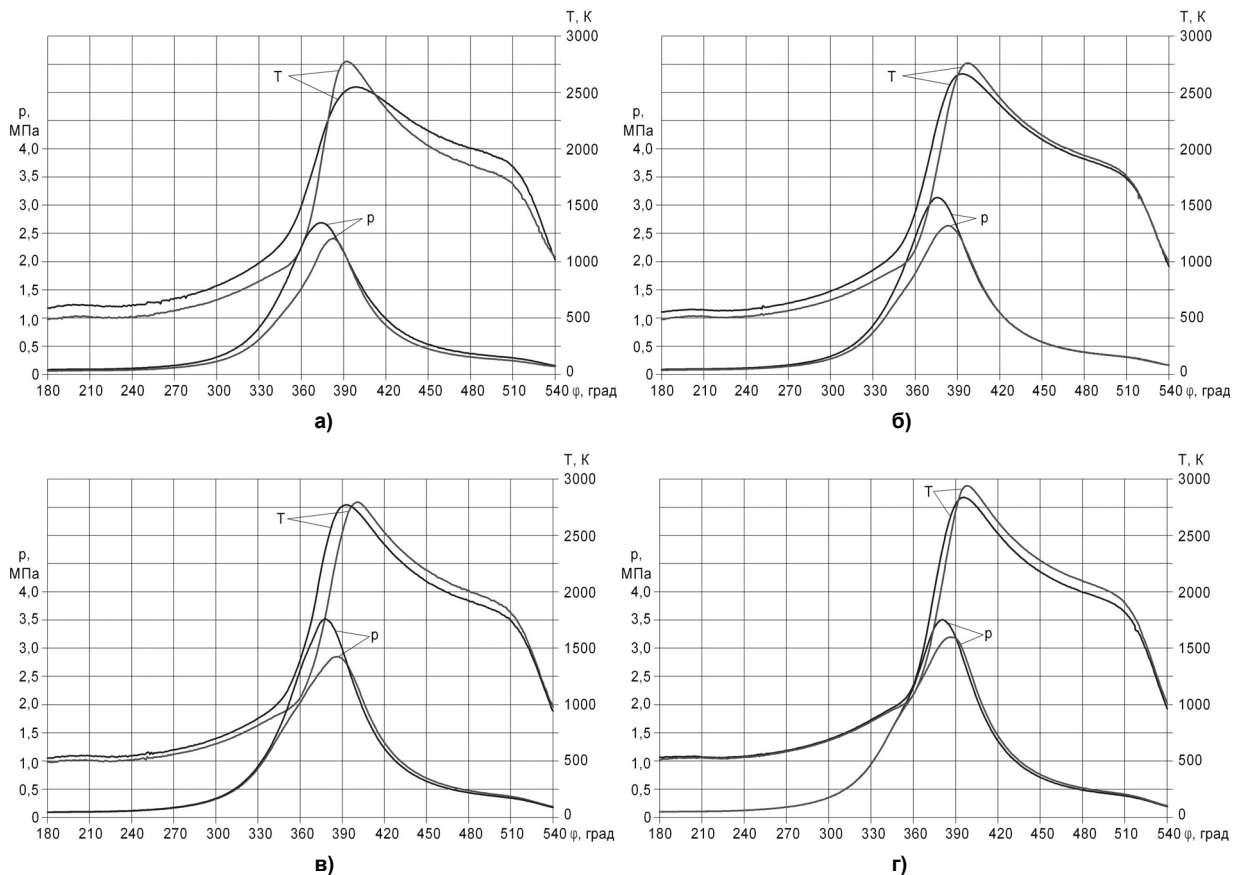


Рис. 1. Зависимость давления и температуры рабочего тела в цилиндре двигателя при работе без РОГ и с РОГ ($n = 2000\text{ мин}^{-1}$): а – $p_e = 0,35\text{ МПа}$; б – $p_e = 0,47\text{ МПа}$; в – $p_e = 0,58\text{ МПа}$; г – $p_e = 0,67\text{ МПа}$

С увеличением нагрузки наблюдается рост максимальных давления и температуры газа в цилиндре двигателя. Особенно интенсивное приращение максимального давления имеет место при использовании рециркуляции отработавших газов на средних нагрузках (рис. 1, б, в). Вследствие более раннего угла опережения зажигания в рабочем цикле с рециркуляцией отработавших газов наблюдается смещение кривой термодинамической температуры газов к ВМТ.

Интегральные $x = f(\phi)$ и дифференциальные $dx/d\phi \equiv w_x = f(\phi)$ характеристики выгорания, а также интегральные $x_{пот} = f(\phi)$ характеристика тепловых потерь за процесс сгорания топлива на различных режимах нагружения двигателя представлены на рис. 2. Анализ характеристик выгорания при использовании и отсутствии рециркуляции отработавших газов свидетельствует о незначительном изменении продолжительности ϕ_z процесса сгорания, за исключением режимов малых нагрузок (среднее эффективное давление $p_e = 0,35\text{ МПа}$).

С падением нагрузки двигателя с РОГ до значений среднего индикаторного давления $p_i \approx 0,55\text{ МПа}$ улучшается характер теплоиспользования. Это подтверждается тем, что продолжительность ϕ_z сгорания в двигателе с рециркуляцией отработавших газов и без нее различается незначительно, а показатель характера сгорания m_0 в двигателе с РОГ приближается к оптимальному значению $m_0 = 1,5$.

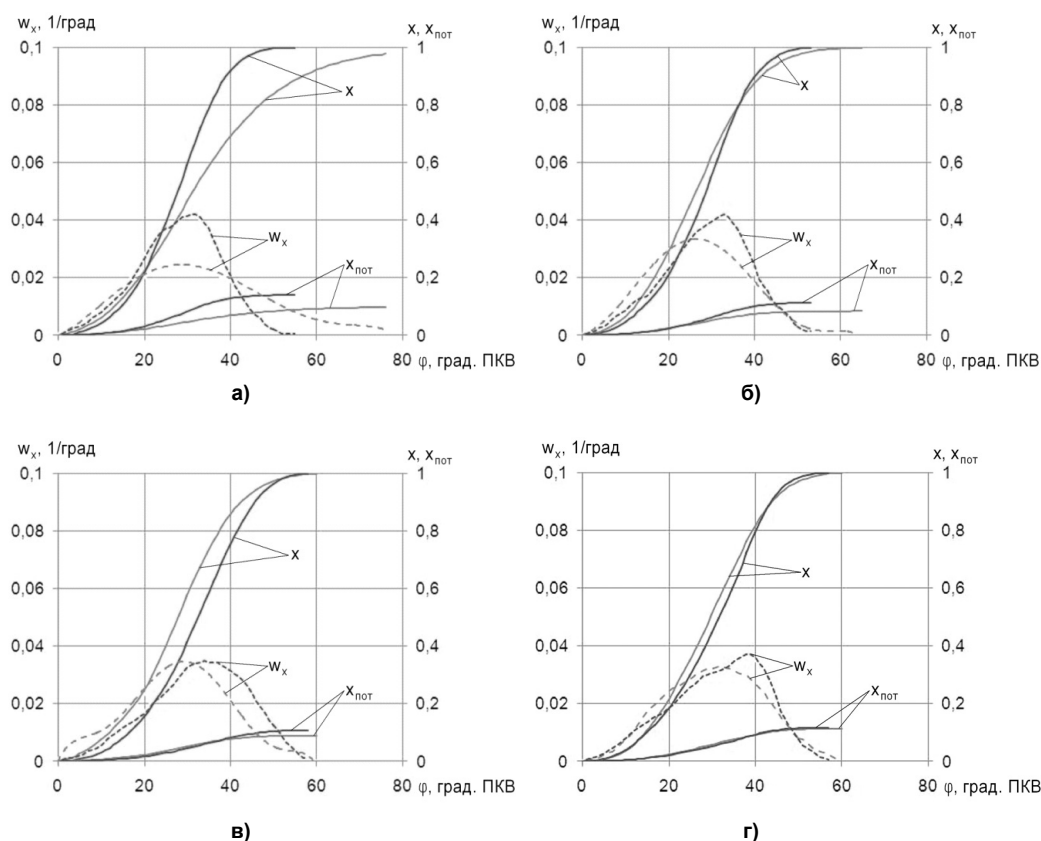


Рис. 2. Интегральные и дифференциальные характеристики выгорания топлива при работе двигателя без РОГ — — и с РОГ — ($n = 2000 \text{ мин}^{-1}$): а — $p_e = 0,35 \text{ МПа}$; б — $p_e = 0,47 \text{ МПа}$; в — $p_e = 0,58 \text{ МПа}$; г — $p_e = 0,67 \text{ МПа}$

Смещение кривой термодинамической температуры газов к ВМТ (см. рис. 1, а–в) в сторону меньшей площади поверхности внутрицилиндрового пространства сопровождается снижением тепловых потерь $x_{\text{пот}}$ в стенку за процесс сгорания (см. рис. 2, а–в).

Результаты моторных испытаний двигателя

На рис. 3 приведены зависимости параметров процесса сгорания и основных показателей рабочего цикла и двигателя в целом при работе по нагрузочной характеристике при отсутствии и с использованием РОГ.

Из анализа представленных данных следует, что топливная экономичность, характеризуемая удельным индикаторным g_i и эффективным g_e расходами топлива, имеет наибольшие значения на средних нагрузках двигателя. При малых нагрузках двигателя с РОГ наблюдается несколько увеличенная продолжительность процесса сгорания, что является ограничивающим фактором в достижении высокой топливной экономичности.

При работе двигателя с РОГ во всем исследуемом диапазоне нагрузок наблюдается некоторое повышение максимального давления p_{max} цикла. Максимальная температура T_{max} цикла при средних нагрузках (среднее эффективное давление $p_e \approx 0,55 \dots 0,65 \text{ МПа}$) изменяется незначительно, за исключением малых нагрузок. Снижение T_{max} объясняется большей продолжительностью процесса сгорания. Максимальная быстрота нарастания давления $w_{p \text{ max}}$ практически не меняется по характеристике. Несколько большие ее значения характерны для двигателя с РОГ вследствие увеличенных значений угла опережения зажигания θ . Повышенные значения коэффициента эффективности сгорания ξ топлива при работе двигателя с рециркуляцией охлажденных отработавших газов можно объяснить увеличенным коэффициентом избытка воздуха α .

Температура отработавших газов t_r имеет меньшие значения в двигателе с РОГ, что хорошо согласуется с характером изменения топливной экономичности исследуемых комплектаций двигателя.

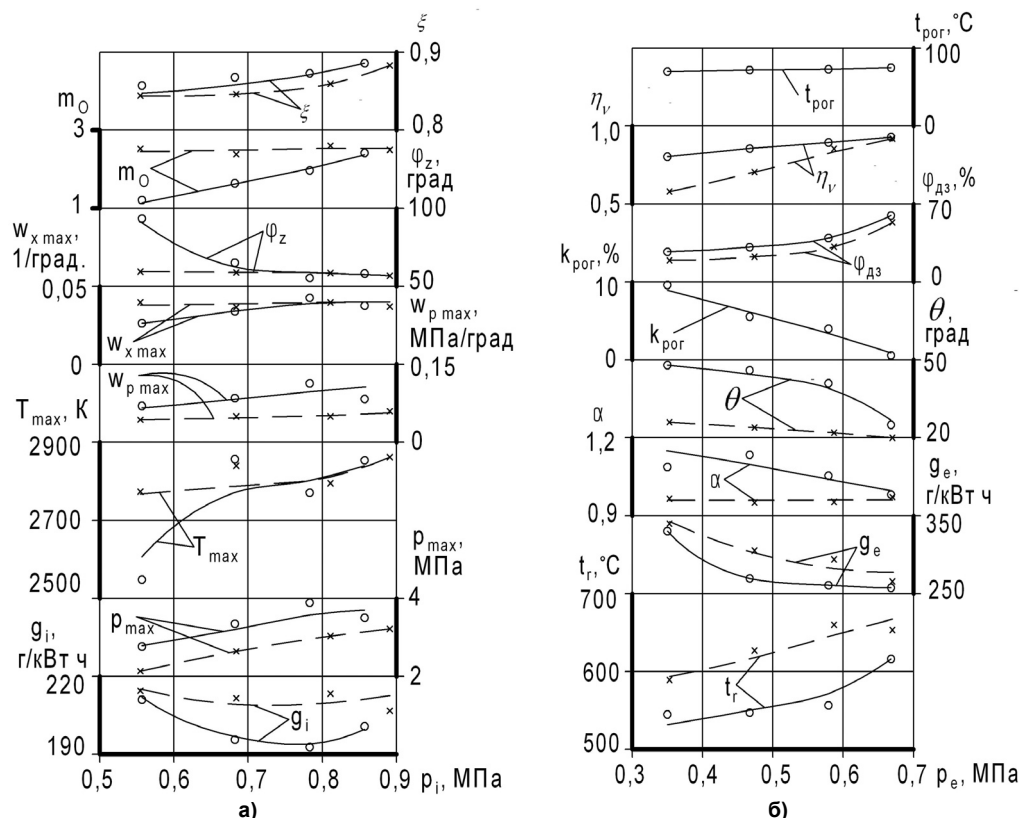


Рис. 3. Зависимость параметров процесса сгорания и показателей рабочего цикла двигателя от средних индикаторного p_i (а) и эффективного p_e (б) давлений при постоянной частоте вращения коленчатого вала n при работе без РОГ – х и с РОГ – о ($n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, $\Phi_{дз} = \text{var}$, $k_{\text{рог}} = \text{var}$, $\theta = \text{var}$)

Выводы

На основании выполненного расчетно-экспериментального исследования установлено:

- регулирование мощности двигателя изменением степени открытия дроссельной заслонки с одновременным изменением степени рециркуляции охлажденных отработавших газов и корректировкой угла опережения зажигания позволяет повысить его топливную экономичность на режимах средних нагрузок;
- повышение топливной экономичности происходит вследствие снижения тепловых потерь за процесс сгорания топлива (повышения коэффициента эффективности сгорания), обусловленного ростом коэффициента избытка воздуха;
- применение рециркуляции отработавших газов в бензиновом двигателе приводит к некоторому повышению его механической нагруженности;
- при работе двигателя на больших нагрузках с рециркуляцией отработавших газов увеличение угла опережения зажигания более, чем на 4...6 град ПКВ относительно его значения, установленного заводом-изготовителем, ограничено условиями возникновения детонационного сгорания.

Литература

1. Дмитриевский, А.В. Топливная экономичность бензиновых двигателей / А.В. Дмитриевский, Е.В. Шатров. – М.: Машиностроение, 1985. – 208 с.
2. Fontana, G. Experimental analysis of a spark-ignition engine using exhaust gas recycle at WOT operation / G. Fontana, E. Galloni // Applied Energy – 2010. – Vol. 87. – P. 2187–2193.
3. Вибе, И.И. Новое о рабочем цикле двигателей / И.И. Вибе. – М.; Свердловск: Машигиз, 1962. – 271 с.

Мацулевич Михаил Андреевич. Аспирант кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск). Область научных интересов –

рабочий цикл двигателей внутреннего сгорания с рециркуляцией отработавших газов. E-mail: mmaculevich@mail.ru

Лазарев Евгений Анатольевич. Доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск). Область научных интересов – рабочий цикл двигателей внутреннего сгорания. E-mail: lea2@mail.ru

PARAMETERS OF COMBUSTION PROCESS AND INDICATORS OF OPERATING CYCLE GASOLINE ENGINE WITH COOLED OF RECIRCULATION OF EXHAUST GAS

M.A. Maculevich, E.A. Lazarev

The characteristics of combustion of fuel, the kinetic constants of the combustion process. Executed calculation and experimental analysis of the parameters of the combustion process and performance cycle using exhaust gas recirculation with intermediate cooling at different loads gasoline engine. Observed efficiency of exhaust gas recirculation to improve fuel efficiency at medium engine loads.

Keywords: Exhaust gas recirculation, combustion process, characteristics of fuel burn-out, working cycle, gasoline engine, load.

Mihail A. Maculevich. Postgraduate student of the Internal Combustion Engine department, South Ural State University (Chelyabinsk). The area of scientific interests – working cycle of the internal combustion engine with exhaust gas recirculation. E-mail: mmaculevich@mail.ru

Evgeny A. Lazarev. D. ph, professor of the Internal Combustion Engine department, South Ural State University (Chelyabinsk). The area of scientific interests – working cycle of the internal combustion engine. E-mail: lea2@mail.ru

Поступила в редакцию 11 марта 2013 г.