

показатели токсичности ОГ. Так, удельный массовый выброс монооксида углерода e_{CO} снижается с 3,612 г/(кВт·ч) в базовом двигателе до 2,522 г/(кВт·ч) в дизеле с опытными распылителями № 3, работающем на смесевом биотопливе, т.е. на 30,2%. При этом удельный массовый выброс несгоревших углеводородов e_{CH_x} уменьшается от 1,638 до 1,083 г/(кВт·ч), т.е. на 33,9%. Дымность ОГ на режиме максимальной мощности при $n=2400$ мин⁻¹ снижается с 16 до 10% по шкале Хартриджа (на 37,5%), а на режиме максимального крутящего момента при $n=1500$ мин⁻¹ – с 28,0 до 24,5% по шкале Хартриджа (на 12,5%). Условный средний на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла эффективный КПД дизеля увеличивается $\eta_{еусл}$ с 0,341 до 0,352 (на 3,2%). И лишь выброс оксидов азота e_{NOx} возрастает с 6,610 до 7,121 г/(кВт·ч), т.е. на 7,7%. Однако, такое увеличение эмиссии оксидов азота может быть легко компенсировано оптимизацией (уменьшением) угла опережения впрыскивания топлива.

В целом, проведенные исследования показали эффективность использования опытных распылителей по варианту № 3 в дизеле, работающем на смесевом биотопливе (смеси 93% ДТ и 7% МЭРМ).

Литература:

1. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Системы топливоподачи и управления дизелей: Учебник для ВУЗов. Второе издание. М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2005. 344 с.
2. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376 с.
3. Марков В.А., Девянин С.Н., Мальчук В.И. Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. 360 с.
4. Кутовой В.А. Впрыск топлива в дизелях. М.: Машиностроение, 1981. 119 с.
5. Работа дизелей на нетрадиционных топливах: Учебное пособие // В.А. Марков, А.И. Гайворонский, Л.В. Грехов и др. М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. 464 с.
6. Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. М.: Издательский центр ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. 340 с.

ДИНАМИКА НАПОЛНЕНИЯ И ОБРАЗОВАНИЯ РАБОЧЕЙ СМЕСИ В ПРОЦЕССЕ ГАЗООБМЕНА

Матюхин Л.М. (МАДИ (ГТУ))

Анализ соотношений парциальных объемов компонентов *рабочей* смеси позволяет проследить динамику изменения состава этой смеси в процессе наполнения, а также оценить влияние фаз газообмена на величину коэффициента наполнения.

Парциальные объемы и соответствующие им значения объемных долей остаточных газов (ОГ) и газов рециркуляционных (РГ), а также воздуха и газообразного топлива определяются формулами, приведенными в табл.1 (на основании [1] и [2]). В таблице индексы при параметрах относятся к соответствующим точкам индикаторной диаграммы.

Фигурирующий в формулах коэффициент $A = \frac{\mu_T \alpha L_0}{(\mu_T \alpha L_0 + 1)}$ есть некий «коэффициент вытеснения воздуха», учитывающий влияние на наполнение цилиндра мо-

лекулярной массы и коэффициента избытка воздуха образующейся во впускном тракте горючей смеси. Под $R'_c = \frac{N^R}{N_b + N_T + N^R} = \sigma'^R$ подразумевается степень рециркуляции, представляющая собой мольную (объемную) долю рециркуляционных газов в свежем заряде (СЗ).

Таблица 1.

	Парциальный объем	Объемная доля
Воздух	$V_b = V_c \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a \phi_s}{p_a T_r} A \cdot (1 - R'_c)$	$\sigma_b = \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a \phi_s}{\epsilon p_a T_r} A (1 - R'_c)$
Газообр. топливо	$V_T = V_c \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a \phi_s}{p_a T_r} \times \frac{A}{\mu_T \alpha L_0} \cdot (1 - R'_c)$	$\sigma_T = \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a \phi_s}{\epsilon p_a T_r} \frac{(1 - R'_c)}{(\mu_T \alpha L_0 + 1)}$
Свежий заряд	$V_{сз} = V_c \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a \phi_s}{p_a T_r}$	$\sigma_{сз} = \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a \phi_s}{\epsilon p_a T_r}$
ОГ	$V_r = V_c \frac{p_r T_a \phi_s}{p_a T_r}$	$\sigma_r = \frac{p_r T_a \phi_s}{\epsilon p_a T_r}$
Рецирк. газы	$V^R = V_c \frac{R'_c (\epsilon p_a T_r - p_r T_a \phi_s)}{p_a T_r}$	$\sigma^R = \frac{R'_c (\epsilon p_a T_r - p_r T_a \phi_s)}{\epsilon p_a T_r}$ или $\sigma^R = \frac{R'_c \sigma_b}{A(1 - R'_c)}$

Реальное значение объема цилиндра, соответствующее любому углу поворота коленчатого вала, можно определить посредством величины изменения объема цилиндра как $V_i = V_c + \Delta V_i$, где $\Delta V_i = \pi r^2 \Delta S$ и $\Delta S_i = r[(1 - \cos \varphi) + (\lambda/4)(1 - \cos 2\varphi)]$. Обозначив стоящее в квадратных скобках выражение через B , можем записать:

$$V_i = V_c + \pi r^2 \frac{2r}{2} B_i = V_c + \frac{V_h}{2} B_i = V_c + \frac{V_a - V_c}{2} B_i, \text{ откуда окончательно}$$

$$V_i = V_c \cdot \left(\frac{2 + (\epsilon - 1) \cdot B_i}{2} \right) \quad (1)$$

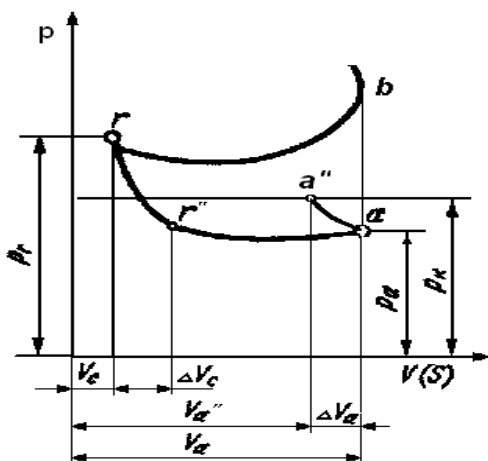


Рис. 1. Диаграмма процессов газообмена

При закрытии выпускного клапана в ВМТ парциальный объем остаточных газов при параметрах точки a'' (рис. 1) определится как

$$V_r = V_c \frac{p_r T_{a''}}{p_{a''} T_r} \quad (2)$$

Для нахождения текущего значения объемной доли ОГ в образующейся в процессе наполнения рабочей смеси воспользуемся выражением $\sigma_r = \frac{V_r}{V_i}$. В этом слу-

чае $V_r = V_c \frac{p_r T_{a''}}{p_{a''} T_r}$ и при определяемом формулой (1) текущем объеме получаем

$$\sigma_r^i = \frac{2}{2 + (\varepsilon - 1)V_i} \cdot \frac{p_r}{p_{a_i}} \cdot \frac{T_{a_i}}{T_r} \quad (3)$$

Парциальный объем свежего заряда (СЗ) для каждого угла поворота коленчатого вала (КВ) можно найти как разность текущего значения объема цилиндра и парциального объема ОГ

$$V_{c3}^i = V_i - V_r \quad \text{или} \quad V_{c3}^i = V_c \left(\frac{[2 + (\varepsilon - 1)V_i] p_a T_r - 2p_r T_{a_i}}{2p_a T_r} \right) \quad (4)$$

После деления (4) на текущее значение объема цилиндра получаем

$$\sigma_{c3}^i = \left(\frac{[2 + (\varepsilon - 1)V_i] p_a T_r - 2p_r T_{a_i}}{[2 + (\varepsilon - 1)V_i] p_a T_r} \right) \quad (5)$$

В дизелях и бензиновых ДВС без рециркуляции этой же формулой определяется доля воздуха в рабочей смеси.

Но свежий заряд в общем случае состоит из воздуха, (газообразного) топлива и рециркуляционных газов

$$\sigma_{c3}^i = \sigma_b^i + \sigma_t^i + \sigma_R^i = \left\{ \frac{[2 + (\varepsilon - 1)V_i] p_a T_r - 2p_r T_{a_i}}{[2 + (\varepsilon - 1)V_i] p_a T_r} \right\}.$$

Имея в виду, что $\sigma_b + \sigma_t = \frac{\sigma_b}{A}$ (так как $\sigma_t = \frac{\sigma_b}{\alpha \cdot \mu_t \cdot L_0}$) и доля рециркуляционных газов $\sigma_R = \frac{R'_c \sigma_b}{A(1 - R'_c)}$, получаем окончательно

$$\sigma_b^i = \frac{[2 + (\varepsilon - 1)V_i] p_a T_r - 2p_r T_{a_i}}{[2 + (\varepsilon - 1)V_i] p_a T_r} A(1 - R'_c). \quad (6)$$

В случае дизелей и бензиновых двигателей без использования рециркуляции $\sigma_b \approx \sigma_{c3}$.

Поскольку $\sigma_t = \frac{\sigma_b}{\mu_t \alpha L_0}$, текущее значение доли газообразного топлива определится выражением

$$\sigma_t^i = \frac{[2 + (\varepsilon - 1)V_i] p_a T_r - 2p_r T_{a_i}}{[2 + (\varepsilon - 1)V_i] p_a T_r} \cdot \frac{1 - R'_c}{\mu_t \alpha L_0 + 1}. \quad (7)$$

Используя формулу $\sigma_R = \frac{R'_c \sigma_b}{A(1 - R'_c)}$, получаем

$$\sigma_R^i = \frac{[2 + (\varepsilon - 1)V_i] p_a T_r - 2p_r T_{a_i}}{[2 + (\varepsilon - 1)V_i] p_a T_r} \cdot R'_c \quad (8)$$

Полученные выражения для нахождения парциальных объемов ОГ и свежего заряда позволяют определить и традиционно используемые для расчетов значения коэффициентов остаточных газов и наполнения.

В соответствии с формулой (4) при закрытии впускного клапана после НМТ в точке a'' объем свежего заряда определится выражением

$$V_{c3}^{a''} = V_c \left(\frac{[2 + (\varepsilon - 1)B_{a''}]p_{a''}T_r - 2p_r T_{a''}}{2p_{a''}T_r} \right).$$

Поскольку $\gamma_r = \frac{V_r}{V_{c3}}$, приводя парциальные объемы к параметрам точки a'' , с использованием формулы (2) получаем

$$\gamma_r = \frac{2p_r T_{a''}}{[2 + (\varepsilon - 1)B_{a''}]p_{a''}T_r - 2p_r T_{a''}}$$

Для определения коэффициента наполнения необходимо привести к параметрам точки « a'' » индикаторной диаграммы объем V_e^m , который мог бы занимать воздух, находящийся в рабочем объеме цилиндра V_h при параметрах на входе (p_k и T_k). Из соотношения $\frac{p_k V_h}{T_k} = \frac{p_{a''} V_B^T}{T_{a''}}$ получаем $V_B^T = V_h \frac{p_k}{p_{a''}} \frac{T_{a''}}{T_k}$.

Соответственно текущее значение изменяющегося «рабочего объема» может быть найдено из выражения $V_h^i = (V^i - V_c) \frac{p_k}{p_a} \frac{T_{a_i}}{T_k}$, где давление остается постоянным и равным p_a , а температура изменяется в результате смешения ОГ и свежего заряда.

Но $\eta_v = \frac{V_B^{a''}}{V_B^T}$ и тогда, используя формулу (4) получаем

$$\eta_v = \frac{[2 + (\varepsilon - 1)B_{a''}]p_{a''}T_r - 2p_r T_{a''}}{2(\varepsilon - 1)T_r p_k} \frac{T_k}{T_{a''}}$$

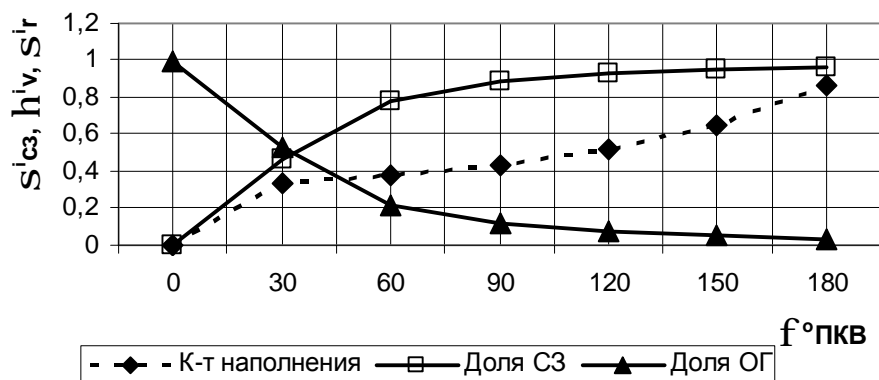


Рис. 2 Пример изменения текущих значений долей компонентов рабочей смеси и коэффициента η_v в процессе наполнения

Для газового двигателя с рециркуляцией в соответствии с [2] эта формула переписывается следующим образом:

$$\eta_v = \left\{ \frac{[2 + (\varepsilon - 1)B_{a''}]p_{a''}T_r - 2p_r T_{a''}}{2(\varepsilon - 1)T_r p_k} \right\} \cdot \frac{T_k}{T_{a''}} \cdot A \cdot (1 - R'_c)$$

Динамику процесса наполнения можно проследить, используя величину текущего «коэффициента наполнения» $\eta_v^i = \frac{V_B^i}{V_B^{T_i}}$. В знаменателе этой формулы находится величина приведенного к параметрам рабочей смеси «текущего рабочего объема» $V_B^{T_i} = (V^i - V_c) \frac{p_k T_{a_i}}{p_a T_k}$. Тогда $V_B^{T_i} = V_c \cdot \frac{(\epsilon - 1) \cdot V_i p_k T_{a_i}}{2 p_a T_k}$. Применяя формулу

(4), находим текущее значение коэффициента наполнения

$$\eta_v^i = \left(\frac{[2 + (\epsilon - 1)V_i] p_a T_r - 2 p_r T_{a_i}}{(\epsilon - 1) V_i p_k T_r} \right) T_k T_{a_i}^{-1}$$

Пример изменения текущих значений долей свежего заряда, остаточных газов и коэффициента наполнения представлен на рис. 2. Расчеты проводились при произвольно взятых монотонно понижающихся значениях температуры образующейся рабочей смеси T_{a_i} .

Если же соотносить текущее значение парциального объема воздуха с неизменным значением приведенного рабочего объема $V_{c3}^T = V_h \frac{p_k T_a}{p_a T_k}$, вышеприведенная формула примет вид

$$\eta_v^i = \left(\frac{[2 + (\epsilon - 1)V_i] p_a T_r - 2 p_r T_a}{2(\epsilon - 1) p_k T_r} \right) T_k T_a^{-1}$$

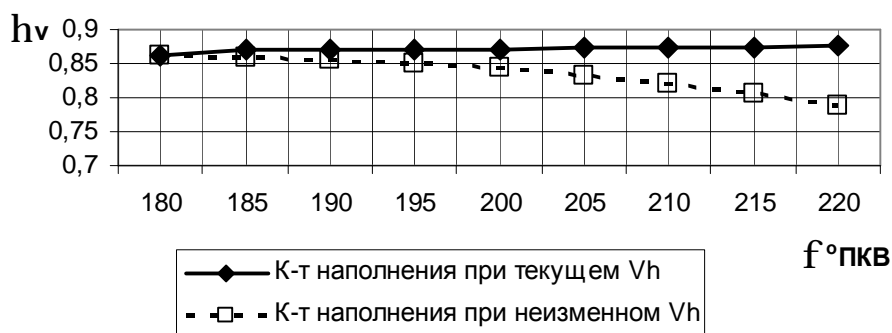


Рис. 3. Влияние момента закрытия впускного клапана на величину коэффициента наполнения при неизменных значениях p_a и T_a .

Влияние на коэффициент наполнения запаздывания закрытия впускного клапана показано на рис. 3 (при неизменных значениях давления и температуры в конце процесса наполнения).

Из графика следует, что если объем воздуха соотносить с его теоретическим объемом в V_h , то величина коэффициента наполнения будет понижаться, а если его делить на уменьшающийся текущий объем $V_h^i = (V^i - V_c) \frac{p_k T_{a_i}}{p_a T_k}$ – незначительно возрастать.

Таким образом, использование в расчетах объемных долей – это не только удобный способ оценки качества процессов газообмена, но и новые возможности для определения состава получаемой в результате смесеобразования рабочей сме-

си, в том числе – в газовых двигателях, а также в случае применения рециркуляции.

Литература:

1. Матюхин, Л.М. Альтернатива коэффициенту наполнения / Матюхин Л.М. // Сб. науч. тр. по материалам Междунар. Конф. «Двигатель-2007», посв. 100-летию МГТУ им. Н.Э.Баумана – М., 2007. – С. 80-85.

2. Матюхин, Л.М. Универсальная формула коэффициента наполнения четырехтактного двигателя внутреннего сгорания / Л.М. Матюхин // Вестн. МАДИ (ГТУ). – 2010. – Вып. 3 (22) – С. 39 – 43.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ ГАЗООБМЕНА В ГАЗОВОЗДУШНОМ ТРАКТЕ ДВУХТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Михайлов В.С. (Уфимский государственный авиационный технический университет);

На сегодняшний день трудно назвать область науки и техники где бы не использовалось математическое моделирование. Изучение процессов протекающих в системе газозоообменного тракта 2-тактного двигателя является непростой задачей, и в практику инженерных расчетов за последние два десятилетия широко внедрилось моделирование этих процессов.

Для оперативного моделирования таких процессов привлекаются быстросчетные модели невысокой пространственной детализации (одномерные модели) [1], так как применение детальных трехмерных моделей на порядки увеличивает время, затрачиваемое на моделирование. Используемые быстросчетные модели, хоть и позволяют быстро оценить предлагаемую конструкцию, но часто не удовлетворяют требуемой точности моделирования показателей исследуемого объекта. Для уменьшения величины отклонения требуется создание методики, способной повысить точность прогнозирования моделируемых показателей. С учетом вышесказанного использование методики параметрической идентификации модели процессов газозообмена в ГВТ 2-тактного ДВС представляется актуальной.

В настоящем исследовании предложена и реализована методика параметрической идентификации, построенная на использовании одномерной модели, при помощи которой предсказываются интегральные показатели 2-тактных двигателей. Разработанная методика является уточняющим дополнением к рациональной одномерной модели процессов в ГВТ 2-тактных ДВС. Применяемая одномерная модель имеет невысокую степень детализации и поэтому требует замыкающих соотношений. В качестве таких соотношений используются зависимости вида критериальных уравнений (продувочная характеристика (ПХ), характеристики потерь на граничном сечении, характеристики выгорания), полученные натурным или вычислительным экспериментом и необходимые для адекватного описания процессов в органах системы газозообмена.

Из всевозможных моделей применительно к процессам в ГВТ ДВС рациональными будут такие, что получены на основе законов сохранения, «огрубленных» вследствие принятых гипотез об одномерных пространственных распределениях. При этом для замыкания уравнений такой модели не сделано заметных дополнительных допущений. Применяемая модель должна быть замкнута без привлечения не свойственных ей допущений. Например, то, что параметры потока на гранич-