

УДК 621.43.013.2

Л.М. Матюхин

проф., доц. МАДИ,

тел.: 8-495-370-85-88, 8-499-155-04-61,

e-mail: panam1@mail.ru; lmmatyukhin@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО НЕОБХОДИМОГО ПОВЫШЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СВЕЖЕГО ЗАРЯДА ПРИ ПЕРЕВОДЕ ДВИГАТЕЛЯ С ЖИДКОГО НА ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО

Аннотация. В статье анализируются вопросы достижения прежних мощностных показателей двигателя в случае его перевода с одного на другой вид топлива.

Ключевые слова: поршневые ДВС, газообмен, наполнение, объемные доли компонентов рабочей смеси.

Введение

Из опыта известно, что в случае внешнего смесеобразования перевод двигателя с жидкого углеводородного топлива на топливо газообразное сопровождается понижением наполнения и, следовательно, – мощности двигателя. Несмотря на это, меньшая стоимость газообразного топлива и лучшие экологические характеристики газовых ДВС явились причиной все большего их распространения. На газообразное топливо переводятся двигатели разных типов и разного назначения. При этом в случае конвертирования дизелей и перевода бензиновых двигателей на газообразное топливо необходимо предварительно оценивать возможное ухудшение мощностных показателей и предусматривать необходимые мероприятия для поддержания этих показателей на прежнем уровне или даже для их улучшения.

Перевод двигателя с одного на другой вид топлива

Можно констатировать, что степень снижения массового наполнения двигателя с внешним смесеобразованием (в первую очередь – газового) зависит от значения коэффициента избытка воздуха α . Это легко показать, используя выражение $\alpha = \frac{G_{\epsilon}}{G_m l_0}$ для определения коэффициента воздуха. В приведенном выражении G_{ϵ} и G_m – часовые расходы воздуха и топлива, а l_0 – стехиометрическое соотношение, показывающее количество воздуха, теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива.

Представляя массы компонентов горючей смеси как произведения парциальных объемов V_i на соответствующие значения плотностей ρ_i при параметрах смеси, получаем $G_{\epsilon} = V_{\epsilon} \rho_{\epsilon} = \alpha l_0 V_m \rho_m$, откуда окончательно имеем $\frac{V_{\epsilon}}{V_m} = \frac{\rho_m}{\rho_{\epsilon}} \alpha l_0$.

Так как при одинаковых параметрах плотности пропорциональны значениям молекулярной массы μ , то $\frac{\rho_m}{\rho_{\epsilon}} l_0 = \frac{\mu_m}{\mu_{\epsilon}} l_0 = idem$ и определяемая отношением $\frac{V_{\epsilon}}{V_m}$ степень уменьшения наполнения (парциального объема воздуха) при изменении α пропорциональна величине коэффициента $\frac{\mu_m}{\mu_{\epsilon}} l_0$.

Поэтому, чем «легче» топливо, тем меньше величина этого коэффициента, показывающего, во сколько раз парциальный объем воздуха превосходит объем топлива при стехиометрическом составе горючей смеси. Так, для паров бензина соотношение $\frac{V_{\epsilon}}{V_m} = \frac{\mu_m}{\mu_{\epsilon}} l_0 \alpha = \frac{120}{28,9} \cdot 14,9 \cdot 1 = 61,9$ составляет 61,9, а для водорода – всего $\frac{V_{\epsilon}}{V_m} = \frac{2}{28,9} \cdot 34,8 \cdot 1 = 2,4$. Иными словами, в

последнем случае при внешнем смесеобразовании и $\alpha = 1$ приблизительно

четверть объема цилиндра занята водородом. При $\alpha = 0,8$ парциальный объем воздуха превосходит объем водорода уже менее чем в 2 раза, что при неизменном объеме цилиндра V_a означает уменьшение объемной доли воздуха за счет соответствующего увеличения доли водорода. А поскольку при неизменном значении α масса сгорающего в цилиндре топлива зависит от массы поступившего в цилиндры воздуха, подобное снижение наполнения не может не приводить к уменьшению мощности двигателя.

Влияние коэффициента избытка воздуха на среднее индикаторное давление отражается известным выражением [1]
$$p_i = \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_v \cdot \rho_k,$$
 показывающим зависимость p_i в частности от низшей рабочей теплоты сгорания H_u , индикаторного КПД η_i , коэффициента наполнения η_v и плотности свежего заряда перед впускными клапанами ρ_k .

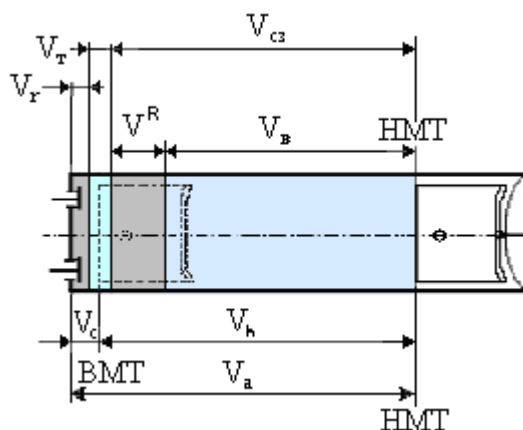


Рис. 1. Полный объем цилиндра как сумма парциальных объемов ОГ, (газообразного) топлива, рециркуляционных газов и воздуха

Однако при внешнем смесеобразовании и питании двигателя газообразным топливом обогащение смеси вызывает снижение наполнения, которое никак не оценивается традиционно используемыми выражениями для определения η_v .

Как следует из рис. 1, заполненный рабочей смесью полный объем цилиндра равен сумме парциальных объемов ее компонентов. В общем

случае это можно записать как [2, 4] $V_a = V_r + V_{\epsilon} + V_m + V^R$, где индексы «r», «ε», «т» и «R» соответствуют остаточным газам, воздуху, (газообразному) топливу и рециркуляционным газам. После ряда преобразований [3, 4] может быть найдено выражение на определения парциального объема воздуха:

$$V_{\epsilon} = V_c \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a}{p_a T_r} \cdot \frac{\alpha L_0 \mu_{\epsilon}}{\alpha L_0 \mu_{\epsilon} + 1} \cdot (1 - R'_c),$$

где R'_c – степень рециркуляции, равная отношению количества молей рециркуляционных газов к количеству молей свежего заряда (воздуха, топлива и рециркуляционных газов). Эту зависимость можно представить в виде [2, 4]

$$V_{\epsilon} = V_c \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a}{p_a T_r} \cdot A \cdot (1 - R'_c), \quad (1)$$

где

$$A = \frac{\mu_m \alpha L_0}{(\mu_m \alpha L_0 + 1)} \quad (2)$$

есть некий «коэффициент вытеснения» [3, 4], учитывающий в случае внешнего смесеобразования уменьшение наполнения по воздуху в связи с конечным значением парциального объема (паров) топлива. В этом выражении L_0 – стехиометрическое соотношение, показывающее количество молей воздуха, теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива ($L_0 = l_0 / \mu_b$).

Коэффициент вытеснения можно представить в виде

$$A = \frac{\mu_m \alpha L_0}{(\mu_m \alpha L_0 + 1)} = \frac{\alpha L_0}{\left(\frac{1}{\mu_m} + \alpha L_0 \right)}.$$

В числителе этого выражения стоит количество молей воздуха, а в знаменателе – суммарное количество молей горючей смеси. Как показано в

[3, 4], этот коэффициент численно равен доле воздуха в горючей смеси, а потому его снижение означает уменьшение наполнения по воздуху.

Делением зависимости (1) на значение полного объема цилиндра V_a (равного объему рабочей смеси), получаем выражение для определения объемной доли воздуха в рабочей смеси (РС)

$$\sigma_\epsilon = \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a}{\epsilon p_a T_r} \cdot A(1 - R'_c). \quad (3)$$

Аналогично получаются и зависимости для определения в составе рабочей смеси объемных долей топлива, остаточных и рециркуляционных газов, а также суммарно – долей горючей смеси и свежего заряда [4]:

$$\sigma_m = \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a}{\epsilon p_a T_r} \cdot \frac{A}{\mu_m \alpha L_0} (1 - R'_c) - \text{доля топлива};$$

$$\sigma_r = \frac{V_r}{V_a} = \frac{p_r T_a}{\epsilon p_a T_r} - \text{доля ОГ};$$

$$\sigma_{\epsilon, см} = \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a}{\epsilon p_a T_r} (1 - R'_c) - \text{доля горючей смеси};$$

$$\sigma_{\epsilon з} = \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a}{\epsilon p_a T_r} - \text{доля свежего заряда};$$

$$\sigma^R = \frac{R'_c \sigma_\epsilon}{A(1 - R'_c)} - \text{доля рециркуляционных газов};$$

$$\sigma_r^\Sigma = \frac{[p_r T_a (1 - R'_c)] + R'_c \epsilon p_a T_r}{\epsilon p_a T_r} - \text{суммарная доля продуктов сгорания в}$$

рабочей смеси в случае использования рециркуляции. Доля σ_r^Σ учитывает влияние «внутренней» и «внешней» рециркуляции на состав РС.

Определение соотношения объемных долей компонентов имеет большое значение, поскольку все показатели двигателя зависят от состава рабочей смеси.

Если коэффициент наполнения отражает степень ухудшения наполнения в сравнении с неким идеальным «теоретическим» наполнением, при котором отсутствует понижение давления свежего заряда и его подогрев, то *объемная доля воздуха / горючей смеси / свежего заряда характеризует степень заполнения ими полного объема цилиндра*, что позволяет судить о резервах по наполнению.

В выражении (3) величина $(1 - R'_c)$ эквивалентна доле горючей топливовоздушной смеси в свежем заряде. Увеличение степени рециркуляции R'_c означает соответствующее снижение доли горючей смеси в свежем заряде (см. рис. 1) или, что то же самое, уменьшение наполнения.

В соответствии с (1), (2) и (3) парциальный объем воздуха и его доля в РС уменьшается при переходе на более «легкие» сорта топлив и по мере обогащения газо-воздушной смеси (рис. 2), а также в случае введения в цилиндр рециркуляционных газов.

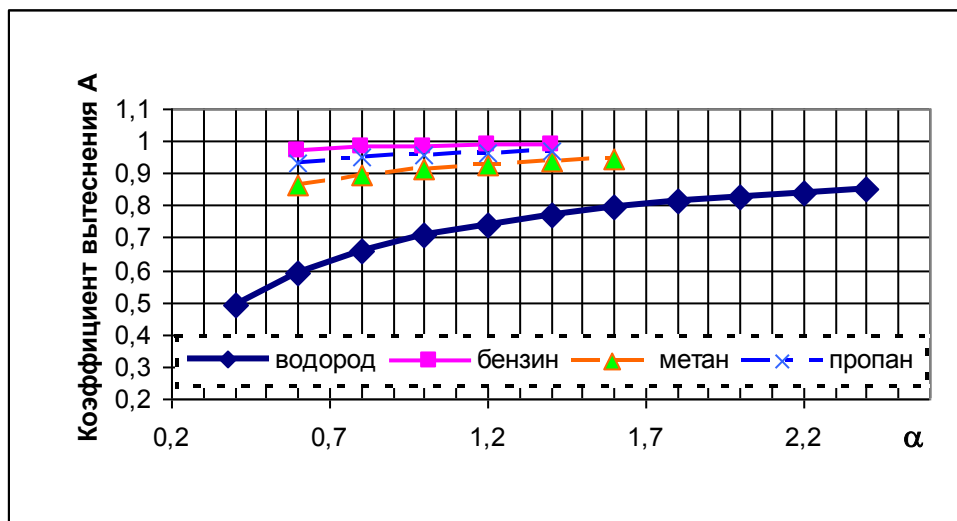


Рис. 2. Влияние коэффициента избытка воздуха на величину коэффициента вытеснения A

При переводе двигателя на газообразное топливо предварительная оценка ожидаемого ухудшения мощностных показателей позволяет

предусмотреть необходимые мероприятия по компенсации указанного снижения эффективной мощности N_e .

Максимальная мощность достигается в том случае, когда из цилиндра полностью удалены остаточные газы и объем цилиндра V_a заполнен свежим зарядом. Однако по численному значению коэффициента наполнения невозможно судить о степени заполнения цилиндра свежим зарядом. Начиная с некоторого определенного значения η_v , соответствующего доле свежего заряда в цилиндре $\sigma_{сз} = 1$, дальнейшее увеличение коэффициента наполнения происходит за счет роста потерь части свежего заряда в результате продувки в период перекрытия клапанов. Поступая в цилиндр через впускные клапана, часть свежего заряда «транзитом» перетекает в клапана выпускные. При этом количество свежего заряда в цилиндре остается неизменным, как остается неизменным и значение среднего индикаторного давления p_i , но экономические показатели двигателя ухудшаются в связи с потерями части свежего заряда.

Однако при повышении η_v результаты расчета по традиционно используемой зависимости [1] $p_i = \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \rho_k$ в этом случае будут показывать увеличение p_i . Следовательно, в этом случае приведенная зависимость при известном значении ρ_k не позволяет найти максимально достижимое значение p_i и, следовательно, – мощности двигателя.

Этих недостатков лишено выражение, позволяющее определить значение p_i при известных значениях плотности и доли воздуха в рабочей смеси [4, 5]:

$$p_i = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \sigma_a \rho_a. \quad (4)$$

При $\alpha = idem$ максимальные значения p_i и мощности двигателя достигаются при полном заполнении свежим зарядом объема цилиндра V_a ,

то есть соответствуют доле свежего заряда $\sigma_{C3} = 1$. Если $\sigma_{C3} > 1$, то это свидетельствует о потерях части свежего заряда в результате продувки. Действительно, в этом случае $V_{C3} > V_a$, то есть парциальный объем свежего заряда превосходит полный объем цилиндра. При этом в зависимость (4) подставляется σ_ϵ , соответствующее $\sigma_{C3} = 1$.

Используя выражение [6] $\sigma_\epsilon = \sigma_{C3} A(1 - R'_c)$ при $\sigma_{C3} = 1$ в общем случае имеем $\sigma_\epsilon = A(1 - R'_c)$ или, при отсутствии рециркуляции, $\sigma_\epsilon = A$.

Для дизелей и бензиновых двигателей без рециркуляции максимальное значение p_i при любом значении p_a может быть определено по (4) в предположении $\sigma_\epsilon = 1$.

При подстановке в (4) из (3) значения доли воздуха получаем

$$p_i = \frac{\rho_k}{\epsilon - 1} \cdot \frac{H_u}{l_0} \cdot \eta_i \cdot \frac{\epsilon p_a T_r - p_r T_a \phi_s}{p_k T_r} \cdot \frac{T_k}{T_a} \cdot \frac{A}{\alpha} (1 - R'_c), \quad (5)$$

откуда следует, что **величина p_i зависит от отношения A/α , характеризующего степень эффективности количественного регулирования.** Физический смысл этого отношения можно установить из

равенства $\frac{A}{\alpha} = \frac{\mu_m L_0}{(\mu_m \alpha L_0 + 1)} = \frac{L_0}{\left(\frac{1}{\mu_m} + \alpha L_0\right)}$. Следовательно, отношение A/α

эквивалентно **отношению количества молей воздуха, теоретически необходимого для полного сгорания 1 кг топлива, к действительному количеству молей горючей смеси.** Таким образом, коэффициент A/α показывает соотношение количеств молей воздуха, теоретически необходимого для полного сгорания 1 кг топлива, и количества молей горючей смеси, состоящей из этого количества топлива и используемого для его сжигания воздуха.

Объем моля любого газа при одинаковых условиях есть величина постоянная и одинаковая для всех газов. В связи с этим при работе двигателя на бензине коэффициент вытеснения A близок к единице, так как

количество молей топлива $1/\mu_T$ мало. И, коль скоро $A \approx 1$, то при обогащении смеси от стехиометрического состава отношение A/α изменяется существенно, возрастая практически пропорционально величине $1/\alpha$.

Но, как следует из рис. 2, при использовании топлив газообразных коэффициент вытеснения A значительно меньше единицы, что является следствием возрастания количества молей топлива $1/\mu_T$ (и его парциального объема) в горючей смеси. В связи с этим изменение отношения A/α при обогащении в случае «легких» топлив не столь значительно (см. рис. 3), а это, в соответствии с (5), означает меньшее влияние обогащения на мощностные показатели газового двигателя.

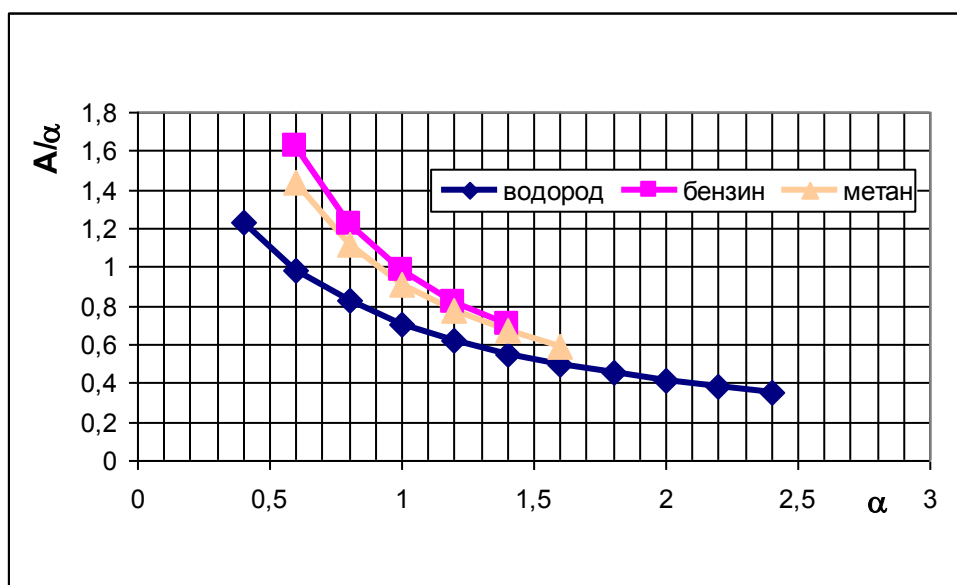


Рис. 3. Зависимость отношения « A/α » от величины α

Поскольку в случае $\alpha = idem$ при сжигании более «легкого» топлива в цилиндр поступает меньше воздуха и меньшее количество тепловой энергии, то это обстоятельство вызывает соответствующее снижение величины p_i .

Из вышеизложенного следует, что в случае конвертации дизеля и питания его при внешнем смесеобразовании газообразным топливом для

достижения прежнего наполнения необходимо повышение плотности заряда в $1/4$ раза.

В общем случае, с учетом отношения A_1/α_1 для исходного топлива и изменившихся характеристик газообразного топлива, необходимое для сохранения первоначального наполнения изменение плотности заряда должно составить $\frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$, где индекс «2» соответствует газообразному топливу.

Поскольку степень рециркуляции R'_c есть объемная доля продуктов сгорания в свежем заряде, разность $(1 - R'_c)$ представляет собой содержание в нем по объему горючей смеси. В этом случае произведение $A(1 - R'_c)$ эквивалентно доле воздуха в свежем заряде. В связи с этим значение плотности свежего заряда, необходимое для сохранения прежнего наполнения на любом режиме работы двигателя, в общем случае может определяться выражением

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{A_1(1 - R'_{c1})}{A_2(1 - R'_{c2})} \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1}.$$

При переходе на иной вид топлива возможно изменение степени сжатия, которая также влияет на величину p_i , а также коэффициента избытка воздуха. Используя учитывающее коэффициент очистки φ_s равенство

$$\begin{aligned} p_i &= \frac{\rho_{k1}}{\varepsilon_1 - 1} \cdot \frac{H_{u1}}{l_{01}} \cdot \frac{\eta_{i1}}{\alpha_1} \cdot \frac{\varepsilon_1 p_{a1} T_{r1} - p_{r1} T_{a1} \varphi_{s1}}{p_k T_r} \cdot \frac{T_{k1}}{T_{a1}} \cdot A_1(1 - R'_{c1}) = \\ &= \frac{\rho_{k2}}{\varepsilon_2 - 1} \cdot \frac{H_{u2}}{l_{02}} \cdot \frac{\eta_{i2}}{\alpha_2} \cdot \frac{\varepsilon_2 p_{a2} T_{r2} - p_{r2} T_{a2} \varphi_{s2}}{p_k T_r} \cdot \frac{T_{k2}}{T_{a2}} \cdot A_2(1 - R'_{c2}), \end{aligned}$$

для любого режима работы двигателя можно определить необходимое значение плотности заряда при изменении степени сжатия и взятых ориентировочно по статистическим данным параметров рабочей смеси в точках «а» и «г» индикаторной диаграммы:

$$\rho_{k_2} = \frac{p_i}{A_2} \cdot \frac{\varepsilon_2 - 1}{(1 - R'_{c_2})} \cdot \frac{l_{0_2}}{H_{u_2}} \cdot \frac{\alpha_2}{\eta_{i2}} \cdot \frac{p_{k_2} T_{r_2}}{\varepsilon_2 p_{a_2} T_{r_2} - p_{r_2} T_{a_2} \phi_{s_2}} \cdot \frac{T_{a_2}}{T_{k_2}}. \quad (6)$$

Здесь индекс «1» относится к исходному двигателю.

После подстановки исходного значения p_i получаем

$$\rho_{k_2} = \rho_{k_1} \frac{\varepsilon_2 - 1}{\varepsilon_1 - 1} \cdot \frac{l_{0_2}}{l_{0_1}} \cdot \frac{H_{u_1}}{H_{u_2}} \cdot \frac{\eta_{i1}}{\eta_{i2}} \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{\varepsilon_1 p_{a_1} T_{r_1} - p_{r_1} T_{a_1} \phi_{s_1}}{\varepsilon_2 p_{a_2} T_{r_2} - p_{r_2} T_{a_2} \phi_{s_2}} \times \\ \times \frac{p_{k_2} T_{r_2}}{p_{k_1} T_{r_1}} \cdot \frac{T_{k_1}}{T_{k_2}} \cdot \frac{T_{a_2}}{T_{a_1}} \cdot \frac{A_1 (1 - R'_{c_1})}{A_2 (1 - R'_{c_2})}. \quad (7)$$

Аналогично, значение необходимой плотности заряда можно определить и основываясь на зависимости (4):

$$\rho_{k_2} = \frac{p_i}{\sigma_{\varepsilon_2}} \frac{\varepsilon_2 - 1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{\alpha_2}{\eta_{i2}}. \quad (8)$$

Или, после подстановки исходного значения p_i ,

$$\rho_{k_2} = \rho_{k_1} \frac{\varepsilon_2 - 1}{\varepsilon_1 - 1} \cdot \frac{H_{u_1} l_{0_2}}{H_{u_2} l_{0_1}} \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{\eta_{i1}}{\eta_{i2}} \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{\sigma_{\varepsilon_1}}{\sigma_{\varepsilon_2}}. \quad (9)$$

В связи с тем, что отношение $\frac{H_u}{l_0}$ практически одинаково для всех топлив, выражения (7) и (9) можно упростить

$$\rho_{k_2} = \rho_{k_1} \frac{\varepsilon_2 - 1}{\varepsilon_1 - 1} \cdot \frac{\eta_{i1}}{\eta_{i2}} \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{\varepsilon_1 p_{a_1} T_{r_1} - p_{r_1} T_{a_1} \phi_{s_1}}{\varepsilon_2 p_{a_2} T_{r_2} - p_{r_2} T_{a_2} \phi_{s_2}} \times \\ \times \frac{p_{k_2} T_{r_2}}{p_{k_1} T_{r_1}} \cdot \frac{T_{k_1}}{T_{k_2}} \cdot \frac{T_{a_2}}{T_{a_1}} \cdot \frac{A_1 (1 - R'_{c_1})}{A_2 (1 - R'_{c_2})}. \quad (7a)$$

$$\rho_{k_2} = \rho_{k_1} \frac{\varepsilon_2 - 1}{\varepsilon_1 - 1} \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{\eta_{i1}}{\eta_{i2}} \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{\sigma_{\varepsilon_1}}{\sigma_{\varepsilon_2}}. \quad (9a)$$

Необходимое повышение плотности заряда при переводе двигателя на газообразное топливо обычно достигается использованием наддува.

Выводы

Учитывая большую информативность долей свежего заряда и воздуха при оценке результатов газообмена в сравнении с традиционно используемыми для этой цели коэффициентами наполнения и остаточных газов, представляется целесообразным их использование при расчете рабочего цикла ПДВС. В этом случае оказывается возможным учитывать влияние вида топлива и состава рабочей смеси на мощностные и экономические показатели двигателя.

Состав рабочей смеси предопределяет также и экологические характеристики двигателя, на которые можно воздействовать с помощью «внешней» или «внутренней» рециркуляции, изменяя суммарное содержание нейтральных продуктов сгорания в рабочей смеси. В связи с этим представляется целесообразным исследовать зависимость выбросов канцерогенных и токсичных компонентов отработавших газов не от степени рециркуляции, а от суммарной доли σ_r^{Σ} продуктов сгорания в РС.

Использование для оценки наполнения вместо коэффициента η_v долей свежего заряда и воздуха, а также зависимостей (3...5) позволяет определять предельное значение доли свежего заряда, при котором отсутствуют его потери в результате продувки, а также найти при данном значении плотности ρ_k максимально достижимые величины среднего индикаторного давления p_i (индикаторной мощности N_i).

При переходе на иной тип топлива для сохранения прежних мощностных показателей двигателя минимально необходимое повышение плотности заряда может быть определено расчетным путем с использованием зависимостей (6), (7), (8) и (9).

Литература

1. Автомобильные двигатели / под ред. М.Г. Шатрова. М.: Академия, 2010. С. 59, 119.

2. Матюхин Л.М. Анализ процессов газообмена и состава рабочей смеси газового двигателя с внешним смесеобразованием // Вестн. МАДИ (ГТУ). 2007. Вып. 4 (11). С. 5–7.
3. Матюхин Л.М. Альтернатива коэффициенту наполнения // Двигатель-2007: сб. науч. тр. М., 2007. С. 80–85.
4. Матюхин Л.М. Анализ наполнения и тепловой расчет ДВС на базе состава рабочей смеси / Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 170 с.
5. Матюхин Л.М. Оценка наполнения и индикаторных показателей газовых ДВС // Международный научно-технический журнал Автогазо-заправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2012. Вып. 1 (61). С. 15–18.
6. Матюхин Л.М., Постоев Д.Д. Соотношения между составом свежего заряда, горючей и рабочей смеси // Вестн. МАДИ. 2013. Вып. 1 (32). С. 47–52.

References

1. Avtomobil'nie dvigateli, pod red. M.G. Shatrova, Moscow, Akademia, 2010, pp. 59, 119.
2. Matyukhin L.M. Analiz processov gasoobmena i sostava rabochei smesi gazovogo dvigatelya s vneshnim smeseobrazovaniem, Vestn. MADI (GTU), 2007, vol. 4 (11), pp. 5–7.
3. Matyukhin L.M. Al'ternativa koefficientu napolnenia, Dvigatel'-2007: sb. nauchn. tr, Moscow, 2007, pp. 80–85.
4. Matyukhin L.M. Analiz yapolnenia i teplovoy rascheot DVS na baze sostava raboche smesi, Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011, 170 p.
5. Matyukhin L.M. Ocenka napolnenia i indikatornykh pokazateley gazovykh DVS, Moscow, Mezhdunarodniy nauchno-tekhnicheskii zhurnal

Avtogazo-zapravochniy kompleks + Al'ternativnoe toplivo, vol. 1 (61), 2012, pp. 15–18.

6. Matyukhin L.M., Postoev D.D. Sootnoshenia mazhdu sostavom svezhego zaryada, goryuchey y rabochey smesi, Moscow, Vestn. MADI, 2013, vol. 1 (32), pp. 47–52.

L. Matyukhin

*The determination of the minimal required incrise of intake charge density
on a engines converting from liquid to gaseous fuel*

Abstract. The article examines the waiss of achievement of the former characteristics of engines power in view of the change-over to others fuel's types.

Key words: piston internal combustion engine, interchange of gases, volumetric efficiency, volumetric ratios of components in the air-fuel-residual gases-mixture.