

УДК 621.43

**Леонид Михайлович Матюхин**, канд. техн. наук, проф.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, panam1@mail.ru

**УНИВЕРСАЛЬНОЕ ВЫРАЖЕНИЕ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА КИЛОМОЛЕЙ  
СВЕЖЕГО ЗАРЯДА**

**Аннотация.** В статье приводится вывод универсальных зависимостей, позволяющих определять необходимые для проведения теплового расчета ДВС количества киломолей свежего заряда при использовании любых видов топлива и рециркуляции.

**Ключевые слова:** свежий заряд, топливовоздушная смесь, рециркуляция, количества киломолей.

**Leonid M. Matyukhin**, Ph. D., professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, panam1@mail.ru

**THE UNIVERSAL EXPRESSION FOR THE DETERMINATION  
OF THE NUMBER OF KILOMOLES  
IN THE INTAKE CHARGE**

**Abstract.** The article presents the derivation of the equation for determination of the number of kilomoles in the intake charge what is necessary by the thermal computation of the internal combustion engines in utilization of any combustibles and recirculation.

**Key words:** intake charge, mixture entering into the engine cylinder, recirculation, the number of kilomoles recirculation.

При проведении теплового расчета необходимо знать количество киломолей свежего заряда  $N_1$ . В общем случае оно является суммой

количеств киломолей остаточных газов (ОГ), воздуха, топлива и газов рециркуляционных, т.е.  $N_1 = N_r + N_b + N_t + N^R$ , где  $N_{ГС} = N_b + N_t$  есть количество киломолей горючей топливовоздушной смеси (ГС).

По определению, степень рециркуляции  $R'_c$  есть отношение количества киломолей рециркуляционных газов к количеству киломолей свежего заряда (сумме киломолей воздуха, топлива и рециркуляционных газов). Таким образом, степень рециркуляции есть ничто иное как доля  $\sigma''_r$  рециркуляционных газов в свежем заряде (СЗ), т.е.

$$R'_c = \frac{N^R}{N_{ГС} + N^R} = \sigma''_r. \quad (1)$$

В этом выражении  $N_{ГС} = N_b + N_t$  – количество киломолей состоящей из воздуха и топлива топливовоздушной смеси. Здесь и ниже два штриха в обозначении соответствуют свежему заряду, а один штрих – входящей состав свежего заряда горючей смеси.

Выражение (1) можно переписать следующим образом

$$R'_c N_{ГС} + R'_c N^R = N^R.$$

Отсюда при известном значении количества киломолей ГС может быть найдено количество киломолей рециркуляционных газов

$$N^R = \frac{R'_c N_{ГС}}{1 - R'_c}. \quad (2)$$

Количество киломолей ГС есть сумма количеств киломолей воздуха и топлива. Используя известные выражения [1], при применении жидких

топлив можно записать –  $N_{ГС} = N_b + N_t = \alpha L_0 + \frac{1}{\mu_t}$ . В этом случае при

подстановке в (2) имеем

$$N^R = \frac{R'_c \left( \alpha L_0 + \frac{1}{\mu_t} \right)}{(1 - R'_c)}.$$

Поскольку количество киломолей СЗ есть сумма  $N_1 = N_{ГС} + N^R$ ,

$$\text{имеем } N_1 = \left( \alpha L_0 + \frac{1}{\mu_T} \right) + \left[ \frac{R'_c \left( \alpha L_0 + \frac{1}{\mu_T} \right)}{(1 - R'_c)} \right], \text{ откуда окончательно}$$

$$N_1 = \left( \alpha L_0 + \frac{1}{\mu_T} \right) \left( \frac{1}{1 - R'_c} \right). \quad (3)$$

При использовании газообразного топлива  $N_1 = N_{ГС} = \alpha L_0 + 1$ . Тогда, в соответствии с (3)

$$N_1 = N_{ГС} + N^R = (\alpha L_0 + 1) + \frac{R'_c (\alpha L_0 + 1)}{1 - R'_c} =$$

$$= (\alpha L_0 + 1) \left( \frac{1}{1 - R'_c} \right). \quad (4)$$

Зависимости (3) и (4) могут быть получены и иным способом, с использованием количеств молей отдельных компонентов и введенного в [2, 4] понятия коэффициента вытеснения  $A$ .

Учитывая, что стехиометрическое соотношение в киломолях на 1 кг топлива определяется зависимостью  $L_0 = \frac{l_0}{\mu_B}$  [1], из выражения для

определения коэффициента избытка воздуха  $\alpha = \frac{G_B}{l_0 G_T} = \frac{N_B \mu_B}{l_0 N_T \mu_T}$  получаем

$$N_T = \frac{N_B}{\alpha L_0 \mu_T}. \quad (5)$$

Тогда приведенное выше выражение  $R'_c = \frac{N^R}{N_B + N_T + N^R}$  (1) можно

переписать следующим образом

$$R'_c = \frac{N^R}{N_B \left( 1 + \frac{1}{\alpha L_0 \mu_T} \right) + N^R} \text{ или } R'_c = \frac{N^R}{N_B \left( \frac{\alpha L_0 \mu_T + 1}{\alpha L_0 \mu_T} \right) + N^R}.$$

Используя понятие коэффициента вытеснения  $A = \frac{\mu_t \alpha L_0}{(\mu_t \alpha L_0 + 1)}$  [2, 4],

получаем  $R'_c = \frac{N^R}{N_B \frac{1}{A} + N^R}$  или, окончательно

$$R'_c = \frac{AN^R}{N_B + AN^R}. \quad (6)$$

Это выражение универсально, поскольку определяет значение степени рециркуляции через учитывающий тип топлива и значение  $\alpha$  коэффициент вытеснения  $A$ , а также через количества киломолей воздуха и рециркуляционных газов. Оно показывает, что при постоянном количестве киломолей рециркуляционных газов и воздуха переход на более «легкое» топливо (что сопровождается уменьшением коэффициента вытеснения  $A$ ) при прочих равных условиях приводит к снижению степени рециркуляции (рис. 1). Соответственно и сопровождающееся снижением коэффициента вытеснения обогащение смеси при неизменных значениях  $N^R$  и  $N_B$  также должно приводить к уменьшению степени рециркуляции. Причина подобного уменьшения – увеличение в обоих случаях количества молей топлива  $N_t$  в свежем заряде, что имеет следствием рост знаменателя в (1).

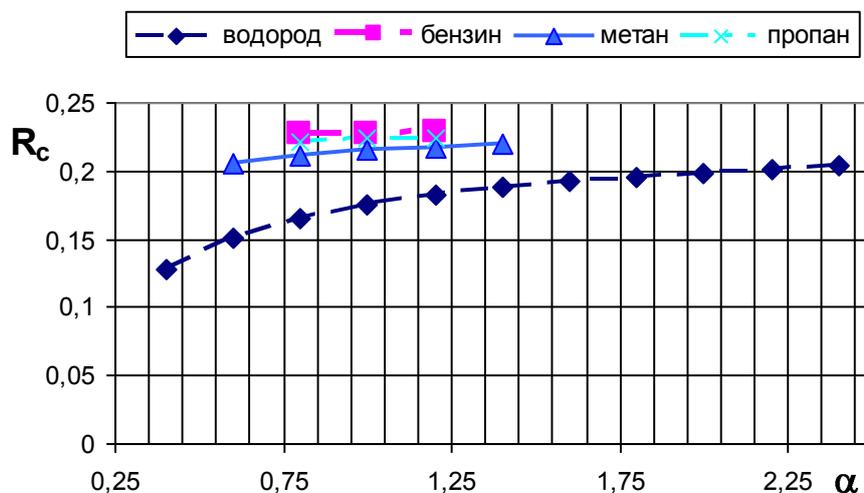


Рис. 1. Влияние коэффициента избытка воздуха и типа топлива на значение степени рециркуляции при неизменных количествах воздуха и рециркуляционных газов

Полученное выражение (6) можно представить в виде  $N_B R'_c + AN^R R'_c = AN^R$  или  $N_B R'_c = AN^R(1 - R'_c)$ , что при известном значении количества киломолей воздуха позволяет определить количество киломолей рециркуляционных газов в свежем заряде:

$$N^R = \frac{N_B R'_c}{A(1 - R'_c)}. \quad (7)$$

Это выражение полностью согласуется с (2), поскольку коэффициент вытеснения  $A$  равен доле воздуха  $\sigma'_b$  в горючей смеси [2, 3, 4].

Следовательно,  $N_B = N_{ГС} \sigma'_b = N_{ГС} A$ , откуда  $\frac{N_B}{A} = N_{ГС}$ , а потому

$$N^R = \frac{R'_c N_{ГС}}{1 - R'_c}.$$

В общем случае количество киломолей свежего заряда определится выражением  $N_1 = N_B + N_T + N^R$ . Следовательно, с учетом (7)

$$\begin{aligned} N_1 &= N_B + \frac{1}{\alpha L_0 \mu_T} + N^R = N_B \left( 1 + \frac{1}{\alpha L_0 \mu_T} \right) + \frac{N_B R'_c}{A(1 - R'_c)} = \\ &= \frac{N_B}{A} + \frac{N_B R'_c}{A(1 - R'_c)} = \frac{N_B}{A} \left( 1 + \frac{R'_c}{1 - R'_c} \right) = \\ &= \frac{N_B}{A} \left( \frac{1}{1 - R'_c} \right). \end{aligned}$$

Но количество киломолей воздуха в горючей смеси  $N_B = \alpha L_0$ , и тогда

$$N_1 = \frac{\alpha L_0}{A} \left( \frac{1}{1 - R'_c} \right). \quad (8)$$

Это выражение позволяет при известном значении количества киломолей воздуха  $N_B = \alpha L_0$  анализировать влияние на  $N_1$  характеризуемого коэффициентом вытеснения  $A$  типа топлива и степени рециркуляции. В любом случае уменьшение коэффициента вытеснения и рост степени рециркуляции приводят к увеличению количества киломолей  $N_1$ .

При подстановке в равенство (8) коэффициента вытеснения

$$A = \frac{\mu_T \alpha L_0}{(\mu_T \alpha L_0 + 1)} \text{ получаем } N_1 = \frac{(\mu_T \alpha L_0 + 1)}{\mu_T} \left( \frac{1}{1 - R'_c} \right), \quad N_1 = \left( \alpha L_0 + \frac{1}{\mu_T} \right) \left( \frac{1}{1 - R'_c} \right).$$

Таким образом, вновь получено выражение (3). Стоящее в первой скобке выражение представляет собой количество киломолей горючей топливовоздушной смеси, содержащей 1 кг топлива. Разность  $(1 - R'_c)$  равна объемной доле ГС в свежем заряде. Частное же от деления абсолютного количества одного из компонентов на его долю дает общее количество всех компонентов. Следовательно, чем выше степень рециркуляции  $R'_c$ , тем больше суммарное количество киломолей свежего заряда.

Как следует из зависимости (3), по мере «утяжеления» состава используемого топлива (увеличения коэффициента вытеснения при возрастании киломолекулярной массы топлива  $\mu_T$ ) при неизменных значениях  $\alpha$  и  $R'_c$  количество киломолей свежего заряда  $N_1$  должно уменьшаться. Действительно, чем тяжелее топливо, тем меньше значение скобки  $\left( \alpha L_0 + \frac{1}{\mu_T} \right)$ . Так, например, для водорода значение стоящей в скобках суммы равно 1,71, а для бензина – всего лишь 0,53. При  $N_b = \text{idem}$  это свидетельствует об уменьшении количества киломолей подаваемого топлива. Как следует из (8) и (3), сопровождающееся уменьшением  $\alpha$  обогащение смеси также приводит к уменьшению количества киломолей свежего заряда, поскольку речь идет о количестве киломолей свежего заряда, содержащего 1 кг топлива, и обогащение происходит в результате уменьшения количества входящего в состав СЗ воздуха.

В случае использования газообразного топлива выражение (3) превращается в (4)

$$N_1 = \left( \alpha L_0 + 1 \right) \left( \frac{1}{1 - R'_c} \right).$$

### **Заключение**

На основе анализа объемного состава состоящей из (газообразного) топлива, воздуха и рециркуляционных газов смеси получены универсальные зависимости для определения количества киломолей  $N_1$  свежего заряда. Эти зависимости позволяют определить влияние на величину  $N_1$  типа используемого топлива, коэффициента избытка воздуха и степени рециркуляции.

### **Список литературы**

1. Автомобильные двигатели: учебник / 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 // Вестник МАДИ (ГТУ). 2007. Вып. 4 (11). С. 5–7.
3. Матюхин Л.М., Постоев Д.Д. Соотношения между составом свежего заряда, горючей и рабочей смеси // Вестник МАДИ. 2013. Вып. 1 (32). С. 47–52.
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.

### **References**

1. *Avtomobil'nie dvigateli* (Automobile engines: manual), ed. by M.G. Shatrov. Moscow, Academy, 2010, pp. 59, 119.
2. Matyukhin L.M. *Vestnik MADI*, 2007, no. 4, pp. 5–7.
3. Matyukhin L.M., Postoev D.D. *Vestnik MADI*, 2013, no. 1 (32), pp. 47–52.
4. Matyukhin L.M. *Analiz napolnenia i teplovoy rascheot DVS na baze sostava raboche smesi* (The analysis of the loading and the thermal calculations of the engine on the basis of composition of the air-fuel-residual gases-mixture), Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co. KG, 2011, 170 p.