

## Транспорт

УДК 629.3

DOI: 10.12737/article\_58f9c4d93ed083.05626092

И.В. Карнаухова, В.Н. Карнаухов, Д.А. Захаров,  
О.В. Карнаухов, О.В. Рындина

### ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА НА РАСХОД ТОПЛИВА ДИЗЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В результате исследования были получены численные значения динамики влияния коэффициента избытка воздуха на расход топлива дизельными двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Были определены причинно-следственные связи между коэффициентом избытка воздуха и процессом смесеобразования, определены оптимальные интервалы коэффициента избытка воздуха, температуры и

давления воздуха во впускном коллекторе, которые обеспечивают оптимальный расход топлива. Предложена математическая модель определения расхода топлива в зависимости от коэффициента избытка воздуха.

**Ключевые слова:** коэффициент избытка воздуха, расход топлива, процесс смесеобразования.

I.V. Karnaukhova, V.N. Karnaukhov, D.A. Zakharov, O.V. Karnaukhov, O.V. Ryndina

### INFLUENCE OF THE EXCESS AIR FACTOR ON FUEL CONSUMPTION BY DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINES

According to the results of the study numeric values of influence dynamics of the excess air factor on fuel consumption by diesel internal combustion engine have been received. Cause and effect relationships between the excess air factor and formation of a mix have been defined, optimum intervals of the excess air factor, temperature and air pressure in an intake manifold which provide optimum fuel consumption have been given.

The mathematical model of fuel consumption depending on the excess air factor has been introduced.

Studies carried out at the department "Operation of motor vehicles" of the Tyumen Industrial University show that the heating of air in an intake manifold of internal combustion engine KAMAZ 740 up to +67°C the temperature interval of the minimum fuel  $\leq 2,05$  that gives fuel economy consumption increases from 25 to + 77 ° C when to 30 %, especially, at cars operation in severe climatic conditions.

**Keywords:** excess air factor, fuel consumption, formation of a mix.

#### Введение

Одним из главных направлений развития автомобильного двигателестроения является повышение энергетических показателей двигателей в целом за счет совершенствования рабочего процесса.

Повышение экономичности бензиновых и дизельных автомобильных двигателей, снижение токсичности и дымности отработавших газов в современных двигателях достигается путем улучшения процессов смесеобразования и сгорания применением систем впрыска топлива с электронным управлением цикловой подачей топлива. А также повышением давления впрыскиваемого топлива и улучшения тем самым распыления топлива на мелкие капли и более равномерным распределением

топлива по объему камеры сгорания с применением нейтрализаторов отработавших газов [1].

#### Аналитические исследования процесса смесеобразования в дизельных ДВС

В современных двигателях длительность смесеобразования составляет  $0,0005 \div 0,045$  секунды, поэтому процессы интенсификации смешивания топлива и воздуха имеет первостепенное значение, при этом полнота и скорость сгорания топлива регулируется коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$ . Увеличение скорости диффузии способствует турбулентности внутри топливных факелов. В современных дизелях распределение топлива в камерах сгорания отличается большой неравномерностью,

поэтому и применяются высокие коэффициенты избытка воздуха

$$\alpha = 1,15 \div 2,4.$$

В начальных стадиях процесса сгорания и больших значениях  $\alpha$  смесеобразование идет быстро и скорость сгорания топлива зависит от скорости поступления топлива в камеры сгорания. При низких значениях коэффициент избытка воздуха необходимо более равномерное распределение топлива по всему объему воздушного заряда. В связи с этим на дизельных ДВС необходимо применять качественное регулирование мощности с изменением количества подаваемого топлива при неизменном количестве, поступающего через впускной коллектор, воздуха и необходимого при этом подогреве воздуха во впускном коллекторе с целью поддержания его оптимальной температуры для обеспечения минимального расхода топлива в ДВС. Получаемое при этом значительное увеличение общего коэффициента избытка воздуха не только не приводит к замедлению сгорания, но делает его более быстрым и полным, потому что все большее количество капель топлива встречает на своем пути сжатый и нагретый воздух. В результате этого процесса экономия топлива в условиях эксплуатации достигает в среднем 30 – 35 %, что было подтверждено в результате испытаний автомобиля КАМАЗ-5410, проведенных на кафедре Эксплуатации автомобильного транспорта Тюменского индустриального университета (деле – кафедра ЭАТ ТИУ). Особенно, подогрев воздуха необходим при работе двигателя на малых и средних нагрузках, так как снижается температура стенок камеры сгорания и это приводит к увеличению в задержках воспламенения смеси. Для устранения этого недостатка необходимо применять уменьшение количества воздуха в камере сгорания или нагрев воздуха с применением нагревателей мощностью 3 - 5 кВт (в зависимости от расхода воздуха). Поэтому наличие подогрева воздуха при высоких степенях сжатия в дизельных ДВС в интервале 17 - 22 кг/см<sup>2</sup> позволяют снизить коэффициент избытка воздуха до  $\alpha = 1,11$ , обеспечивая удовлетворительное сгорание смеси в достаточно

широком диапазоне условий работы двигателя.

Так же на кафедре ЭАТ ТИУ было установлено, что для средних нагрузок при работе на бедной смеси  $\alpha \geq 1,1$  концентрация углеводородов в выпускных газах дизельных ДВС достигает минимума. Лучшую экономичность двигатель КАМАЗ-740 имеет при  $\alpha = 1,07 \div 1,53$ .

Отклонение состава смеси от оптимального значения  $\alpha$ , как в сторону обогащения, так и в сторону обеднения, приводит к резкому повышению концентрации углеводородов в выпускных газах автомобилей. Понижение максимальной температуры в камерах сгорания происходит при работе ДВС на очень богатой ( $\alpha \leq 0,88$ ) и на бедной смеси ( $\alpha \geq 0,135$ ).

В дизельных ДВС скорость сгорания смеси от значения  $\alpha$  проявляется менее четко вследствие большой неоднородности и времени сгорания смеси по объему камеры сгорания.

Давление на впуске в ДВС, однозначно влияет на среднее эффективное давление цикла ( $p_i$ ) и это позволяет совершенствовать двигатели уменьшением потерь на впуске. Экспериментами на кафедре ЭАТ ТИУ установлено, что с повышением коэффициента избытка воздуха  $\alpha \geq 1,07$  увеличивается эффективность сгорания, мощность и уменьшаются вредные выбросы в атмосферу. В дизельных ДВС уменьшение  $\alpha$  сопровождается улучшением распыливания топлива, уменьшением концентрации остаточных газов и повышением температуры смеси, влияющих положительно на процессы смесеобразования и сгорания. Но при работе двигателя с наиболее низкими значениями  $\alpha \leq 0,8$  повышается температура цикла, что приводит к росту теплонапряженности основных деталей цилиндро-поршневой группы ДВС и возрастают требования к организации процесса смесеобразования и сгорания. В дизельных двигателях коэффициент  $\alpha$  является условной величиной, средней для всего количества воздуха и топлива, участвующего в данном цикле. Максимальное значение отношения индикаторного КПД  $\eta_i$  к  $\alpha$  дизельный двигатель имеет при  $\alpha \approx 1$ .

Поэтому при повышении  $\alpha > 1$  происходит снижение расхода топлива и увеличение индикаторного КПД  $\eta_i$ . В дизельных двигателях концентрационные пределы распространения пламени отсутствуют, поэтому можно применять как количественное, так и качественное регулирование. При этом коэффициент наполнения ( $\eta_v$ ) не меняется, а изменяется коэффициент избытка воздуха, характеризующий качество горючей смеси. Коэффициент избытка воздуха зависит от многих факторов, в том числе и от температуры воздуха во впускном коллекторе ДВС. Температура воздуха относится к факторам типа  $(-\infty, +\infty)$ . Следовательно, зависимость расхода топлива  $q$  будет иметь симметричный  $U$ -образный вид, то есть искомая модель является квадратичной:

$$q = q_0 + S \cdot (\alpha_\phi - \alpha_0)^2 \quad (1)$$

где  $q$  - расход топлива;  $q_0$  - минимальный (оптимальный) расход топлива;  $S$  - параметр чувствительности расхода топлива от коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ ;  $\alpha_\phi$  - коэффициент избытка воздуха фактический;  $\alpha_0$  - оптимальный коэффициент.

$$\alpha_\phi = \alpha_0 + S_2 \cdot (t_\phi - t_0)^2 \quad (2)$$

где  $S_2$  - параметр чувствительности  $S_2 = 1/^\circ\text{C}$ ;  $t_\phi$  - фактическая температура воздуха во впускном коллекторе;  $t_0$  - оп-

тимальная температура (определяется при проведении исследований).

Фактическая температура воздуха определяется с учетом температуры воздуха во впускном коллекторе, давления и его плотности по формуле Менделеева-Клапейрона:

$$t_\phi = \frac{P_a \cdot T_0 \cdot \rho_0}{\rho_\phi \cdot P_0} - 273 \quad (3)$$

где  $P_a$  - давление во впускном коллекторе ДВС;  $T_0$  - оптимальная (минимальная температура) во впускном коллекторе;  $\rho_\phi$  - фактическая плотность воздуха в коллекторе;  $\rho_0$  - оптимальная плотность воздуха в коллекторе.

Подставляя формулу (3) в уравнение (2) получаем:

$$\alpha_\phi = \alpha_0 + S_2 \cdot \left[ \left( \frac{P_a \cdot T_0 \cdot \rho_0}{\rho_\phi \cdot P_0} - 273 \right) - t_0 \right]^2 \quad (4)$$

### Результаты экспериментальных исследований и выводы

В результате экспериментальных исследований получена зависимость коэффициента избытка воздуха от температуры и давления воздуха во впускном коллекторе для двигателя КАМАЗ-740. У дизельных двигателей без наддува при постоянном давлении  $\alpha_{\text{опт}}$  находится в интервале  $0,75 \div 1,45$ , а при постоянной температуре -  $0,75 \div 2,1$  (рис. 1).

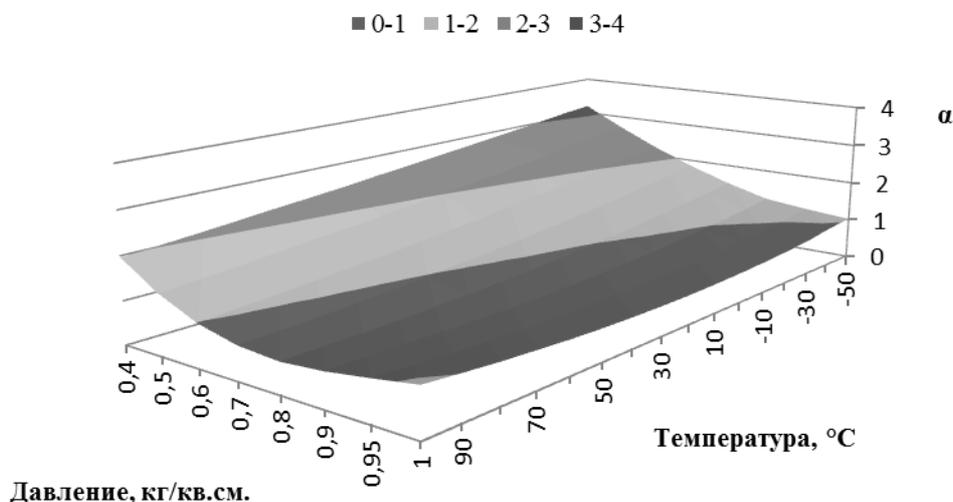


Рис. 1. Зависимость коэффициента избытка воздуха от температуры и давления воздуха во впускном коллекторе ДВС КАМАЗ-740

В результате исследований получена следующая зависимость для определения коэффициента избытка для двигателя КАМАЗ-740:

$$\alpha = 0,7 + 0,0006 \cdot \left[ \left( \frac{P_a \cdot T_0 \cdot \rho_0}{\rho_\phi \cdot P_0} - 273 \right) - 21 \right]^2$$

По результатам экспериментов получены следующие математические модели расхода топлива для двигателя

КАМАЗ-740:

- без подогрева воздуха во впускном коллекторе  $g = g_0 + 1,15 (\alpha_\phi - 0,7)^2$ ;
- с применением подогрева воздуха во впускном коллекторе до оптимальной температуры  $67^\circ \text{C}$   $g = 25 + 2 (\alpha_\phi - 1,4)^2$ .

Подставляя, полученные в результате экспериментов, значения  $\alpha_\phi$  в данные математические формулы, вычисляем расход топлива  $q$  для двигателя КАМАЗ-740. Полученные результаты представлены на рис. 2 и 3.

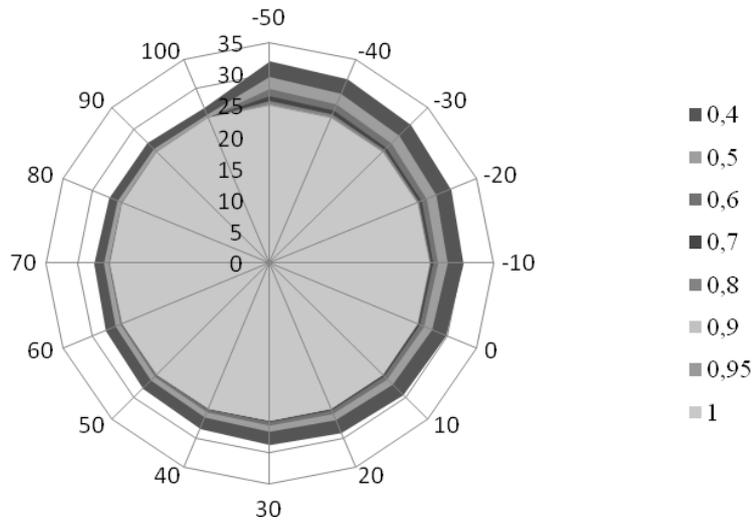


Рис. 2. Расход топлива ДВС КАМАЗ-740

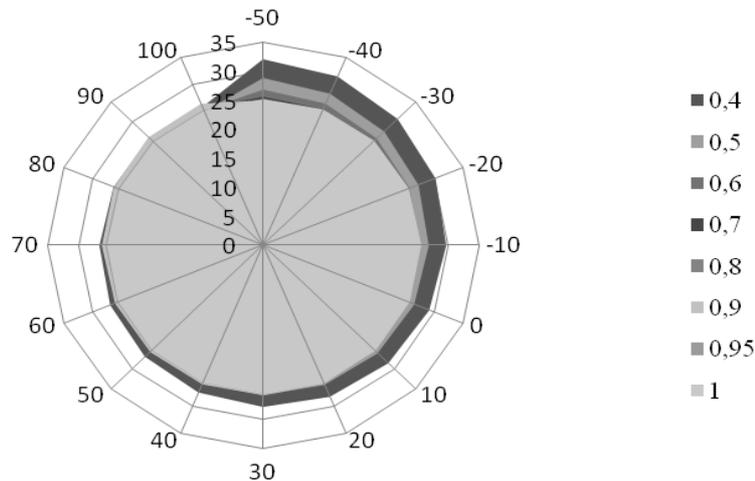


Рис.3. Расход топлива ДВС КАМАЗ-740 с применением подогрева воздуха во впускном коллекторе до оптимальной температуры

Расход топлива увеличивается при отрицательных температурах, особенно, при понижении давления воздуха во впускном коллекторе от  $P_a \leq 0,65$  и уменьшается при  $\alpha \leq 1,85$ . Оптимальный расход топлива (рис. 2) достигает при  $\alpha \leq 1,5$  дав-

лении  $P_a \geq 0,75$  в интервале температур  $t = +10 \div +67^\circ \text{C}$  во впускном коллекторе.

При подогреве воздуха во впускном коллекторе ДВС КАМАЗ 740 до  $+67^\circ \text{C}$  температурный интервал минимального расхода топлива увеличивается от  $-25$  до  $+77^\circ \text{C}$  при  $\alpha \leq 2,05$ .

При поддержании вышеизложенных параметров в современных ДВС с помощью применяемых в автомобилестроении датчиков и бортовых компьютеров можно получить экономию топлива до 30 %.

При этих параметрах кривые расхода топлива превращаются почти в прямые, то есть имеет место линейная зависимость расхода топлива при различных параметрах ДВС, которые легко регулируются.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буров, А.Л. Тепловые двигатели: учеб. пособие / А.Л. Буров; 2-е изд., измен. и доп. - М.: МГИУ, 2008. - 224 с.
1. Burov, A.L. Heat engines: Manual /A.L. Burov, 2-d Edition, revised and supplemented - M.: MGIU, 2008. - 224 p.
2. Дьяченко, В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания. Учебник/ В.Г. Дьяченко. Перевод с украинского языка. - Харьков, ХНАДУ, 2009. - 500 с.
2. Dyachenko, V. G. Theory of internal combustion engines. Text-book / V.G. Dyachenko. Translation from Ukrainian - Kharkiv, HNADU, 2009. - 500 p.
3. Двигатели внутреннего сгорания / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др., под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. - М.: Машиностроение, 1983. - 372 с.
3. Internal combustion engines / D.N. Vyubov, N.A. Ivashchenko, V.I. Ivin, etc., under the editorship of A.S. Orlin, M.G. Kruglov. - M.: Mechanical engineering, 1983. - 372 p.

*Статья поступила в редколлегию 18.07.2016.*

*Рецензент: д-р техн. наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»  
Ш.М. Мерданов*

#### Сведения об авторах:

##### **Карнаухова Инна Владимировна**

аспирант кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»  
E-mail: [karnaukhovainna13@gmail.com](mailto:karnaukhovainna13@gmail.com)

##### **Karnaukhova Inna Vladimirovna**

Post graduate student  
of the Dep. "Operation of motor vehicles"  
of FSBEI HE "Tyumen Industrial University"

##### **Карнаухов Владимир Николаевич**

д-р техн. наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»  
тел.: 8(3452) 28-33-42, 28-33-87  
E-mail: [karnauhov1948@yandex.ru](mailto:karnauhov1948@yandex.ru)

##### **Karnaukhov Vladimir Nikolaevich**

D.Eng., Prof. of the Dep.  
"Operation of motor vehicles"  
of FSBEI HE "Tyumen Industrial University"

##### **Захаров Дмитрий Александрович**

канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»  
тел.: 8(3452) 28-33-42, 28-33-87  
E-mail: [zaharovd@tsogu.ru](mailto:zaharovd@tsogu.ru)

##### **Zakharov Dmitry Aleksandrovich**

Can.Eng., Assistant Prof.,  
Head of the Dep. "Operation of motor vehicles"  
of FSBEI HE "Tyumen Industrial University"

##### **Карнаухов Олег Владимирович**

канд. социол. наук, доцент кафедры «Бизнес-информатика и математика» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»  
тел.: 8(3452) 28-30-47  
E-mail: [ovkx@yandex.ru](mailto:ovkx@yandex.ru)

##### **Karnaukhov Oleg Vladimirovich**

Can.Soc., Assistant Prof. of the Dep. "Business Informatics and Mathematics" of FSBEI HE "Tyumen Industrial University"

##### **Рындина Ольга Владимировна**

канд. социол. наук, доцент кафедры «Бизнес-информатика и математика» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», тел.: 8(3452) 28-30-47

##### **Ryndina Olga Vladimirovna**

Can.Soc., Assistant Prof.  
of the Dep. "Business Informatics and Mathematics"  
of FSBEI HE "Tyumen Industrial University"