



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-2-286-291

УДК 621.43

## СРАВНЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С РАССЛОЕНИЕМ ЗАРЯДА И АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ

П.Р. Вальехо Мальдонадо, Ю.А. Антипов, П.П. Ощепков

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Применение в бензиновых двигателях рабочего процесса с расслоением заряда позволяет повысить степень сжатия  $\epsilon$  в интервале 12–14, коэффициент избытка воздуха до 3 и более при отсутствии детонации. Благодаря расслоению заряда экономичность на частичных нагрузках повышается на 10–15%. Автомобильный дизель без наддува имеет в 1,5 раза меньшую литровую мощность и на 15% более высокую экономичность, чем бензиновый двигатель с расслоением заряда.

**Ключевые слова:** бензиновый двигатель с расслоением зарядом, экономичность, автомобильный дизель

Применение в бензиновых двигателях рабочего процесса с расслоением заряда позволяет получить устойчивую работу при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha \geq 3,5$ , в то время как при гомогенной смеси величина  $\alpha$  не превышает 1,15–1,25 [1–4]. При этом двигатель на гетерогенной смеси имеет малую склонность к детонации, что позволяет повысить степень сжатия  $\epsilon$  до 12 и более. Кроме того, при расслоении заряда уменьшается температура газа на периферийной зоне, что снижает теплоотдачу стенки цилиндра. В бензиновом двигателе с гетерогенной смесью удастся перейти от качественного к количественному регулированию и, как следствие, снизить потери от дросселирования на входе на эксплуатационных режимах. Благодаря всему этому можно заметно повысить индикаторный ( $\eta_i$ ) и эффективный ( $\eta_e$ ) коэффициенты полезного действия (КПД) бензинового двигателя [1–4].

С увеличением  $\alpha$  (при  $> 1$ ) снижается средняя по цилиндру максимальная температура  $T_Z$  и давление  $P_Z$  сгорания. Снижение  $T_Z$  приводит к уменьшению потерь, связанных с ростом теплоемкости продуктов сгорания и диссоциацией молекул. Однако максимальная температура вблизи свечи растет, что может привести к увеличению выделений оксидов азота. Это заставляет на некоторых режимах прибегать к рециркуляции отработавших газов.

В конце 1990-х годов фирмы Мицубиси, Таэта, Ситроэн, Пежо, Фольксваген и др. приступили к эксплуатации легковых автомобилей с двигателями, имеющими расслоение заряда [1; 3]. Выигрыш в экономичности этих автомобилей оценивается по разному. Поэтому представляет интерес сравнивать экономичность двигателей без наддува с расслоением зарядом и дизелей с неразделенной камерой сгорания.

Для сравнительного анализа удобно воспользоваться зависимостью [5]

$$\eta_i = (1 - \varepsilon^{1-m})\eta_\alpha\eta_{\text{опт}},$$

где  $m = 0,22-0,25$  — для дизеля и бензинового двигателя;  $\eta_{\text{опт}}$  — учитывает потери от неполноты сгорания (для дизелей), отдачу теплоты в стенки и другие факторы.

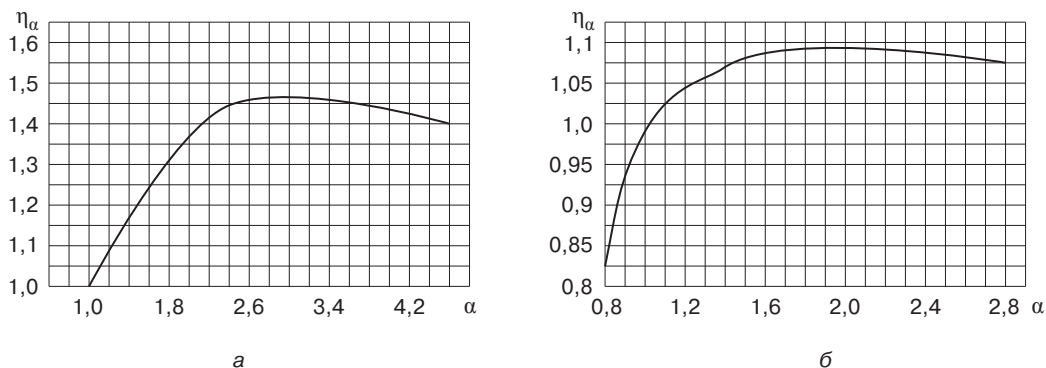
Из зависимостей  $\eta_\alpha = f(\alpha)$  для дизелей [5], бензинового двигателя [1] и двигателя с расслоением заряда [2; 3] (рис. 1) видно, что расслоение заряда позволяет повысить КПД на 5–7%, существенно расширив при этом диапазон устойчивой работы.

Величины  $\eta_{\text{опт}}$ , в среднем, для дизелей равна 0,76, а бензиновых двигателей 0,80.

Среднее индикаторное давление

$$P_i = \frac{H_{\text{и}}}{\alpha L_o} (1 - \varepsilon^{1-m}) \rho_{\text{в}} \eta_{\text{в}} \eta_i,$$

где  $H_{\text{и}}$  и  $L_o$  — теплотворность и стехиометрическое отношение топлива;  $\rho_{\text{в}}$  — плотность воздуха во впускном коллекторе;  $\eta_{\text{в}}$  — коэффициент наполнения.



**Рис. 1.** Зависимость коэффициента  $\eta_\alpha$  от коэффициента избытка воздуха:  
 а — дизель; б — бензиновый двигатель с расслоением заряда

[Fig. 1. The dependence of the coefficient  $\eta_\alpha$  of excess air factor:  
 а — diesel engine; б — gasoline engine with charge stratification]

Среднее эффективное давление

$$P_e = P_i - P_{\text{м}},$$

где  $P_{\text{м}}$  — среднее давление механических потерь, принятое при расчетах равным для дизеля 0,14 МПа, для бензинового двигателя 0,174 МПа.

Большие механические потери у бензинового двигателя объясняются увеличенными насосными потерями, связанными с дополнительным сопротивлением на входе в камеру с расслоением заряда.

Механический КПД  $\eta_{\text{м}} = P_e / P_i$  и эффективный КПД  $\eta_e = \eta_i \eta_{\text{м}}$ .

На рисунке 2 приведены зависимости индикаторного и эффективного КПД, среднего эффективного давления и максимального давления  $P_Z$  для дизелей с  $\varepsilon = 16$ ,  $\eta_v = 0,91$ , теплотворностью топлива  $H_{и} = 43$  МДж/кг,  $L_0 = 14,7$  кг/кг со средней скоростью поршня  $c_{п} = Sn / 30 = 10,5$  м/с ( $n = 3200$  мин<sup>-1</sup>,  $S$  — ход поршня). Видно, что максимальное значение  $\eta_e = 0,4$  достигается при  $\alpha = 2,2-3,2$ , а падение  $\eta_e$  при  $\alpha > 3,2$  объясняется снижением механического КПД. При этом  $\alpha_{мин} = 1,3$ ,  $\eta_e = 0,33$  и  $P_e = 0,78$  МПа.

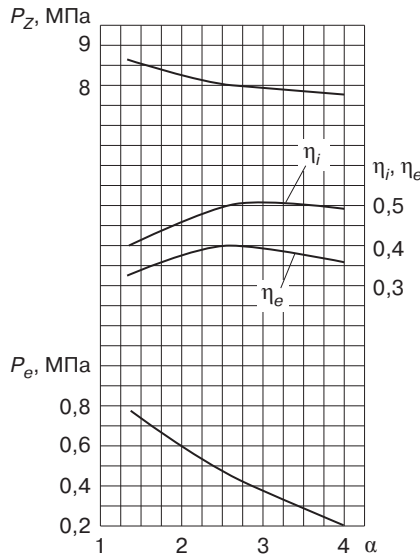


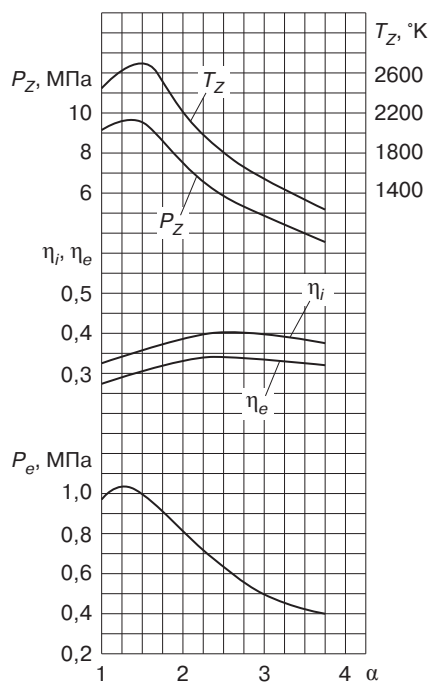
Рис. 2. Характеристика дизеля без наддува в зависимости от коэффициента избытка воздуха:  $\varepsilon = 16$ ,  $n = 3200$  мин<sup>-1</sup>

[Fig. 2. Characteristics of a diesel engine without a boost as a function of the excess air factor:  $\varepsilon = 16$ ,  $n = 3200$  min<sup>-1</sup>]

На рисунке 3 приведены аналогичные зависимости для бензинового двигателя с расслоением заряда с  $\varepsilon = 16$ ,  $\eta_v = 0,91$  при средней скорости поршня 11 м/с и частоте вращения коленчатого вала  $n = 4000$  мин<sup>-1</sup>. Видно, что эффективный КПД в широком диапазоне изменения  $\alpha \geq 1$  равен около 0,35. Средняя по объему цилиндра температура газа  $T_Z$  и давление  $P_Z$  быстро снижается с увеличением  $\alpha$ . При этом следует иметь в виду, что вблизи свечи зажигания местная величина  $\alpha$  близка к единице, а на периферии цилиндра находится бедная смесь с низкой температурой. Это способствует уменьшению теплоотдачи в стенки и повышению КПД.

На номинальной частоте вращения коленчатого вала, которая у дизеля равна 4000 мин<sup>-1</sup>, а у бензинового двигателя 5000 мин<sup>-1</sup>, литровая мощность у бензинового двигателя  $N_{л} = P_e n = 50$  кВт/л, а для дизелей 32 кВт/л. В то же время, на эксплуатационных режимах ( $\alpha \geq 3-4$ ) дизель имеет на 10–15% более высокую экономичность, чем бензиновый двигатель. Сравнение двигателя с расслоением заряда и без расслоения заряда показывает, что их мощностные и экономические характеристики на номинальном режиме ( $\alpha \approx 1$ ) близки между собой. Зато на

эксплуатационных режимах применение расслоенного заряда дает повышение экономичности на 10–15%.



**Рис. 3.** Характеристика бензинового двигателя с расслоением заряда в зависимости от коэффициента избытка воздуха:  $\varepsilon = 16, n = 4000 \text{ мин}^{-1}$

**[Fig. 3.** Characteristics of the gasoline engine with charge stratification depending on the excess air factor:  $\varepsilon = 16, n = 4000 \text{ min}^{-1}$ ]

### Выводы

1. Сравнение экономичности дизеля и бензинового двигателя с расслоением заряда показало, что на номинальном режиме экономичность дизеля на 10–15% выше, а литровая мощность в 1,5 раза меньше.

2. На эксплуатационных режимах, соответствующих  $\alpha = 3–4$ , экономичность дизеля на 15% выше, чем у двигателя с расслоением заряда.

3. Сравнение бензинового двигателя с гомогенным и расслоенным зарядом показало, что на эксплуатационных режимах, соответствующих 20–40% от номинальной мощности, расслоение заряда позволяет повысить экономичность на 10–15% по сравнению с обычным бензиновым двигателем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн 1. Теория рабочих процессов: учебник / В.Н. Луканин, И.В. Алексеев и др.; под ред. В.Н. Луканина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2010. 480 с.
- [2] *Fraidl G.K. und andere.* Direkteinspitzung bei Ottomotoren // MTZ. 1997. № 2.
- [3] *Hoppe N. und andere.* Experimental Erfassung von Ottomotoren mit Direkteinspitzung // MTZ. 2003. № 7–8.

- [4] *Портнов Д.А.* Быстроходные турбопоршневые двигатели с воспламенением от сжатия. М.: Машгиз, 1963. 638 с.
- [5] *Кавтарадзе Р.З.* Теория поршневых двигателей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 589 с.

© Вальехо Мальдонадо П.Р., Антипов Ю.А., Ощепков П.П., 2017

#### **История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 28 февраля 2017

Дата принятия к печати: 17 марта 2017

#### **Для цитирования:**

**Вальехо Мальдонадо П.Р., Антипов Ю.А., Ощепков П.П.** Сравнение экономичности бензинового двигателя с расслоением заряда и автомобильного дизеля // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования»*. 2017. Т. 18. № 2. С. 286—291.

#### **Сведения об авторах:**

*Вальехо Мальдонадо Пабло Рамон*, кандидат технических наук, доцент Департамента машиностроения и приборостроения инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Сфера научных интересов:* рабочий процесс, динамика и конструкция двигателей внутреннего сгорания, альтернативные топлива. *Контактная информация:* prvm@rambler.ru

*Антипов Юрий Александрович*, кандидат технических наук, доцент Департамента машиностроения и приборостроения инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Сфера научных интересов:* теплопередача, газотурбинный двигатель, газодинамика. *Контактная информация:* gudn-tit@yandex.ru

*Ощепков Петр Платонович*, кандидат технических наук, доцент Департамента машиностроения и приборостроения инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Сфера научных интересов:* устройство и ремонт автомобиля, альтернативные топлива. *Контактная информация:* opp1967@yandex.ru

## **COMPARISON OF EFFICIENCY PETROL OF ENGINE WITH STRAUTIFIED CHARGE AND AUTOMOTIVE DIESEL**

**P.R. Vallejo Maldonado, Yu.A. Antipov, P.P. Oshchepkov**

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)

*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Petrol engine with strautified charge has compression ratio 12—14 and air/fuel ratio 3 and more without detonation. Charge strautification increases part-load efficiency by 10—15%. Automotive diesel without supercharging has 50% smaller specific output and o 15% higher efficiency that engine strautified charge.

**Key words:** petrol engine with strautified charge, efficiency, automotive diesel

## REFERENCES

- [1] The internal combustion engines. 3 vol. Kn. 1. The theory of working processes: manual / V.N. Lukanin, V.I. Alekseev, etc.; under. ed. V.N. Lukanina. 2-e izd., Rev. and extra. M.: Higher. wk., 2010. 480 p.
- [2] Fraidl G.K. and others. Direct injection in Otto engine // MTZ. 1997. № 2.
- [3] Hoppe N. and others. Experimental recording of Otto engine with Direct Injection // MTZ. 2003. № 7–8.
- [4] Portnov D.A. High-speed turbo piston engines with compression ignition. M.: Mashgiz, 1963. 638 p.
- [5] Kavtaradze R.Z. Theory of piston engines. M.: MGTU im. N.E. Bauman, 2016. 589 p.

### Article history:

Received: 28 February 2017

Accepted: 17 March 2017

### For citation:

**Vallejo Maldonado P.R., Antipov Yu.A., Oshchepkov P.P. (2017) Comparison of efficiency petrol of engine with stratified charge and automotive diesel. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(2), 286–291.**

### Bio Note:

*Pablo Ramon Vallejo Maldonado*, Ph.D., Associate Professor of Mechanical Engineering and Instrumentation, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia. *Research interests*: operation, dynamics and design of internal combustion engines, alternative fuels. *Contact information*: e-mail: prvm@rambler.ru

*Antipov Yuri*, Ph.D., Associate Professor of Mechanical Engineering and Instrumentation, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia. *Research interests*: heat transfer, gas turbine engine and gas dynamics. *Contact information*: e-mail: rudn-tit@yandex.ru

*Peter Oshchepkov*, Ph.D., Associate Professor of Mechanical Engineering and Instrumentation, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia. *Research interests*: device and car repairs, alternative fuels. *Contact information*: e-mail: opp1967@yandex.ru