

ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ, РЕГУЛИРУЕМОГО ИЗМЕНЕНИЕМ ЕГО РАБОЧЕГО ОБЪЕМА

Р.О. Камышников

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198

Статья посвящена анализу возможностей снижения дымности отработавших газов дизеля легкового автомобиля, работающего на режимах малых нагрузок и регулируемого отключением цилиндров, т.е. изменением его рабочего объема. Для анализа применена расчетно-экспериментальная методика оценки как экономичности, так и экологичности дизеля по уровню дымности ОГ, основанная на использовании экспериментальных многопараметровых характеристик двигателя.

Ключевые слова: дизель, эффективность, экологичность, режимы малых нагрузок, отключение цилиндров, регулирование рабочего объема дизеля

В условиях эксплуатации автомобильные дизели длительное время работают на режимах малых нагрузок и холостых ходов. При этом существенно ухудшаются показатели экономичности, токсичности и дымности выбросов. Одним из методов повышения экономических и экологических качеств дизелей на таких режимах является метод отключения части цилиндров или циклов [1], называемый также методом изменения рабочего объема двигателя, т.е. суммы рабочих объемов цилиндров, оставшихся в работе активных цилиндров. В случаях отключения части цилиндров, при сохранении исходной нагрузки дизеля нагрузка на активные цилиндры возрастает, что приводит к росту удельной экономичности, снижению токсичности выбросов, в том числе выбросов парникового газа CO_2 , до 20—40% в условиях городского движения [2].

Данное исследование проведено применительно к дизелю фирмы VW легковых автомобилей типа Golf. Дизель имеет число цилиндров $i = 4$, рабочий объем полноразмерного двигателя $i \cdot V_h = 1,5 \text{ дм}^3$, $N_{e.\text{max}} = 36,6 \text{ кВт}$ при 5000 мин^{-1} и дымности ОГ 3,4 Бош, $M_{e.\text{max}} = 98,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при 3000 мин^{-1} , $g_{e.\text{min}} = 250 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$. Дизель является вихрекамерным и безнаддувным [3].

Для анализа использованы универсальные характеристики дизеля, поскольку они содержат экспериментальные результаты [2], которые целесообразно применить при прогнозировании показателей дизеля при разных методах регулирования, разных режимах работы и т.д.

При отключении части цилиндров дизеля, работающего на данном режиме малой нагрузки (ниже ~40%), показатель среднего эффективного давления дизеля (p_e) теряет физический смысл, так как часть цилиндров выключается, а другая часть оставшихся в работе активных цилиндров увеличивает нагрузку. При

этом сохраняется полная работа $L_{\text{полн.}} = 500 \cdot p_e \cdot i \cdot V_h$ [Дж], выполняемая полноразмерным дизелем на данном режиме. Удельная работа полноразмерного дизеля, т.е. работа, отнесенная к рабочему объему двигателя, составляет $L_{\text{уд}} = L_{\text{полн.}} / (i \cdot V_h) = 500 \cdot p_e$, а удельная работа дизеля с отключенной частью цилиндров, но выполняющего ту же полную работу, возрастает до уровня $L_{\text{уд}} = L_{\text{полн.}} / (z \cdot V_h)$, где z — число активных цилиндров. Из этих соображений ордината p_e традиционных универсальных характеристик дизеля заменяется ординатой удельной работы $L_{\text{уд}}$ [Дж/дм³] (рис. 1).

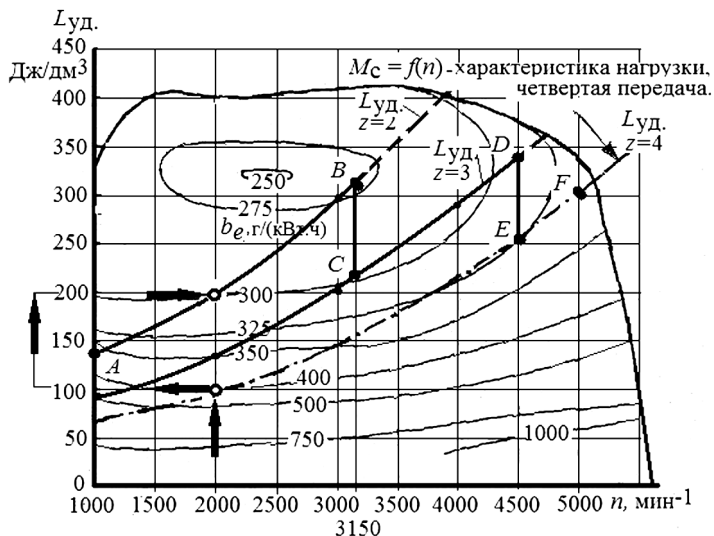


Рис. 1. Универсальная характеристика дизеля легкового автомобиля *Golf* фирмы *VW* по удельному расходу топлива (b_e), снабженная ординатой удельной работы ($L_{\text{уд}}$) и с нанесенными характеристиками — рекомендациями регулирования дизеля отключением части цилиндров; $L_{\text{уд.}} z = 4$; $L_{\text{уд.}} z = 3$; $L_{\text{уд.}} z = 2$ — удельные работы, выполняемые двигателем, работающим с нагрузками $M_c = f(n)$, при его регулировании изменением рабочего объема, т.е. при $z = 4, 3, 2$

На рисунке 1 нанесены параметрические кривые постоянных удельных эффективных расходов топлива (b_e), характеристика момента сопротивления при установившихся режимах движения автомобиля на четвертой передаче (M_c), которая представлена также в виде удельной работы $L_{\text{уд}}$, совершаемой полноразмерным дизелем, т.е. при числе активных цилиндров $z = 4$. В области пониженных нагрузок, когда дизель с частью отключенных цилиндров может выполнять ту же работу, что и полноразмерный двигатель, характеристики удельных работ обозначены соответственно $L_{\text{уд}}$ при $z = 3$ и 2.

Сущность применяемой методики заключается в следующем. Пусть полноразмерный дизель работает вблизи 2000 мин⁻¹ (см. рис. 1), реализуя режим нагрузки, соответствующий точке на характеристике $M_c = f(n)$. При этом удельная работа, выполняемая дизелем, составляет 100 Дж/дм³, следовательно, его удельный эффективный расход топлива составляет 400 г/(кВт·ч). Для повышения экономичности этого режима выполним отключение двух цилиндров. Теперь дизель на данном режиме будет выполнять удельную работу, равную ~ 200 Дж/дм³. Его удельный расход составит ~ 300 г/(кВт·ч), т.е. уменьшится на 25%.

Итак, на рис. 1 показано, что при реализации установившихся режимов движения с нагрузкой $M_c = f(n)$ для полноразмерного дизеля имеется возможность повысить экономичность двигателя, отключая часть цилиндров, т.е. работая с разным числом активных цилиндров z , а именно: на участке от 1000 до ~ 3200 мин⁻¹ можно работать на двух цилиндрах, т.е. по характеристике *A-B*. На участке *B-C* происходит включение третьего цилиндра ($z = 3$) и дизель работает на трех цилиндрах по характеристике *C-D*, т.е. до ~ 4500 мин⁻¹. Линия *D-E* — включение четвертого цилиндра и работа полноразмерного дизеля по характеристике *E-F* до 5000 мин⁻¹. Реализация такого алгоритма регулирования дизеля позволяет снизить удельные расходы топлива. На рисунке 2 показано, что при реализации установившихся режимов движения автомобиля с нагрузкой $M_c = f(n)$, применяя регулирование дизеля изменением рабочего объема, можно получить существенное снижение значений удельных расходов топлива.

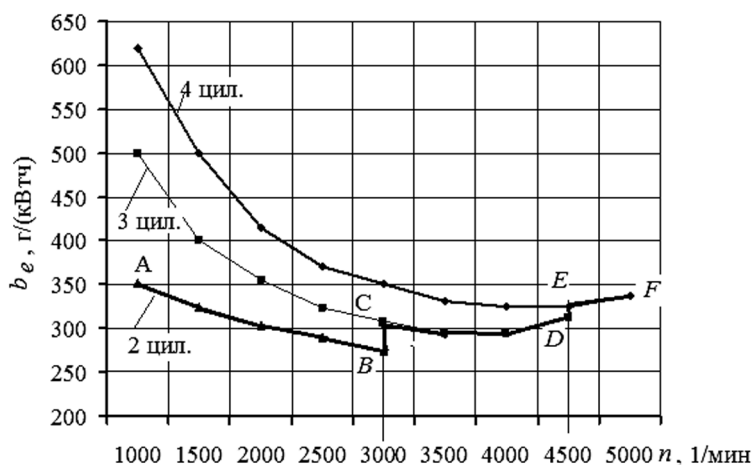


Рис. 2. Удельные эффективные расходы топлива (b_e) дизелем VW Golf при реализации режима движения автомобиля на 4-й передаче по заданному выше закону нагружения ($M_c = f(n)$), т.е. при работе на четырех, трех, двух цилиндрах: *A-B-C-D-E-F* — характеристика изменения удельного расхода топлива при работе по указанному закону нагружения и регулировании дизеля изменением рабочего объема двигателя, 4 цил., 3 цил., 2 цил. — количество активных цилиндров

Зная мощность, которую развивает дизель, преодолевая указанное сопротивление M_c , можем определить часовые расходы топлива (G_T). Тогда скоростные характеристики по часовому расходу топлива будут выглядеть так, как показано на рис. 3.

Таким образом, при работе по характеристике $M_c = f(n)$ (при условии равновероятности всех режимов) последовательно на двух, трех и четырех цилиндрах, т.е. по закону *A-B-C-D-E-F*, экономия топлива составит $\Delta G_T = \sim 8\%$.

Аналогичным способом определяются показатели снижения дымности или выбросов сажи с ОГ дизеля. Универсальная характеристика дизеля Golf по показателям дымности после ее соответствующей переработки с заменой ординаты p_e на ординату $L_{уд}$ и нанесения характеристик нагружения дизеля аналогичных характеристикам (см. рис. 1), приведена на рис. 4.

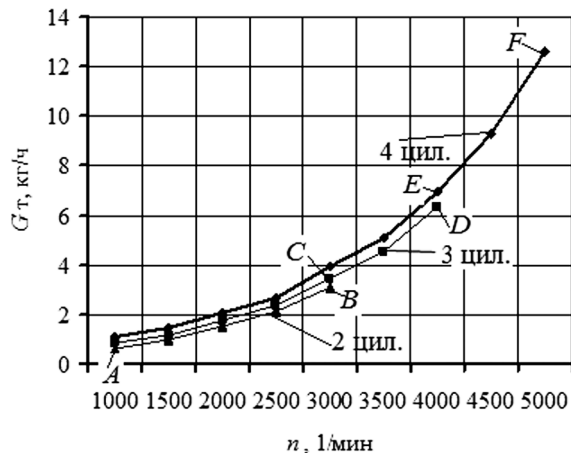


Рис. 3. Часовые расходы топлива дизелем Golf с числом активных цилиндров $z = 4$ цил., 3 цил., 2 цил. при работе с нагрузками по характеристике $M_c = f(n)$ (см. рис. 1); A-B-C-D-E-F – ожидаемое протекание характеристики часового расхода топлива при регулировании дизеля изменением его рабочего объема

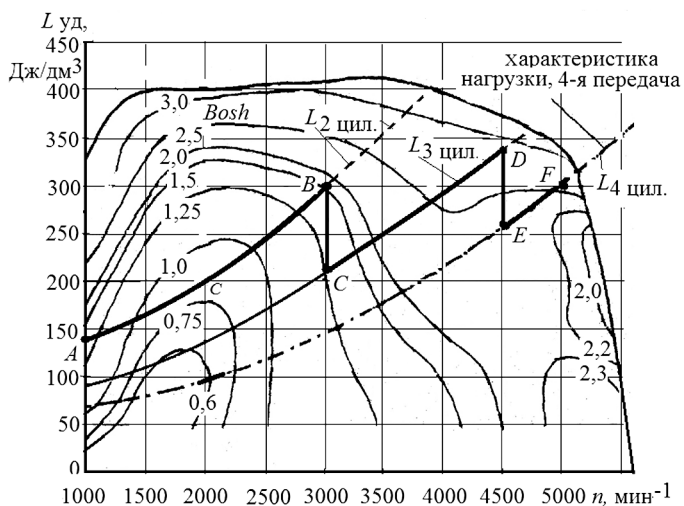


Рис. 4. Универсальная характеристика дизеля легкового автомобиля Golf фирмы VW по дымности отработавших газов (Bosh); на характеристику нанесены изменения нагрузки и соответственно удельной работы при движении на четвертой передаче по характеристике нагружения $M_c = f(n)$ (см. рис. 1)

Очевидно, что дымность ОГ от активных цилиндров при уменьшении их числа будет возрастать из-за роста подач топлива в эти цилиндры. Однако показатели дымности или концентрации сажи в ОГ с учетом разбавления ОГ активных цилиндров воздухом деактивированных цилиндров, возможно, будут снижаться. На рисунке 5 видно, что при работе дизеля, регулируемого изменением рабочего объема, происходит снижение дымности ОГ двигателя, работающего на участках пониженной нагрузки характеристики $M_c = f(n)$.

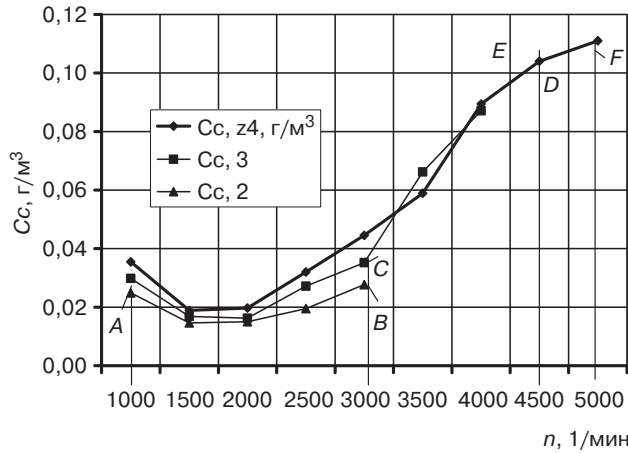


Рис. 5. Изменение концентрации сажи в ОГ дизеля (от всех цилиндров дизеля, как активных (ОГ), так и деактивированных (воздух)), работающего по заданной выше характеристике изменения $M_c = f(n)$, при количестве активных цилиндров $z = 4, 3, 2$

Очевидно, что дымность ОГ дизеля, регулируемого изменением рабочего объема, будет для случаев $z = 3, 2$ ниже, чем для активных цилиндров, так как ОГ будут разбавлены воздухом отключенных цилиндров. На трех цилиндрах целесообразно работать до 3200 мин^{-1} . На двух цилиндрах можно работать до 3000 мин^{-1} . Далее надо переходить на работу на трех цилиндрах, так как возрос момент сопротивления. На режимах вблизи номинальной частоты вращения надо работать на всех цилиндрах, так как отключение даже одного цилиндра приводит к росту выбросов сажи.

Выполнение такой программы регулирования дизеля при равновероятности реализации режимов работы по указанной характеристике M_c обеспечивает снижение выброса сажи на $\sim 10\%$ по сравнению с реализацией тех же режимов полноразмерным двигателем.

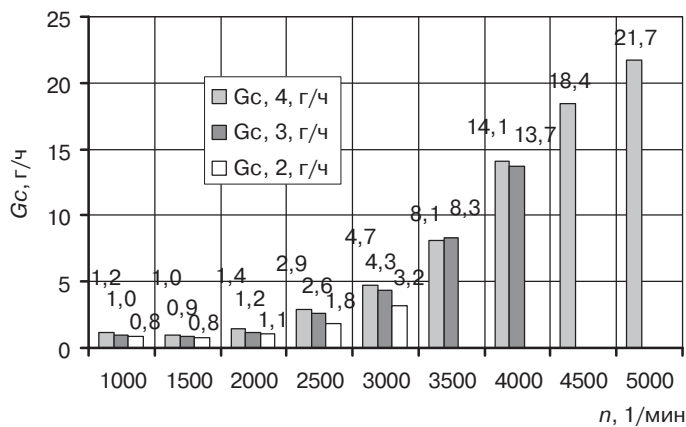


Рис. 6. Влияние отключения цилиндров дизеля Golf на часовые выбросы сажи дизелем при реализации тех же режимов движения $M_c = f(n)$ на 4-й передаче: $G_{с,4}$, г/ч; $G_{с,3}$, г/ч; $G_{с,2}$, г/ч; $G_{с,4}$, г/ч — часовые выбросы сажи при работе дизеля на четырех, трех и двух цилиндрах

Следует отметить, что полученные результаты являются оценочными, так как анализ выполнен при допущении, что абсолютные значения механических потерь не зависят от числа активных цилиндров, от нагрузки, а зависят только от частоты вращения вала дизеля. Кроме того, при анализе принимается, что включение — выключение данного числа цилиндров происходит мгновенно, т.е. отсутствует явление гистерезиса — постепенного выключения/включения цилиндров от одного до данного z . Какие-либо переходные процессы, например в системе топливоподачи, не учитываются. Снижение теплового состояния отключенных цилиндров и повышение активных также может как-то повлиять на получаемые результаты. Однако можно предположить и определенную взаимокompенсацию влияния этих процессов на результаты анализа. При выборе числа отключаемых цилиндров следует учитывать, что рост индикаторного КПД с уменьшением коэффициента избытка воздуха (при повышении подач топлива в активные цилиндры) имеет свой максимум, после которого повышение подач топлива приведет к снижению индикаторного КПД, а следовательно пропадет эффект повышения экономичности. При этом очевидно, что чем длительнее процесс работы дизеля с отключенным данным количеством цилиндров, тем меньше отрицательное влияние указанных допущений на достижимый эффект.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Патрахальцев Н.Н., Аношина Т.С., Камышников Р.О.* Снижение расхода топлива и вредных выбросов дизеля на режимах малых нагрузок методом изменения его рабочего объема // Двигателестроение. 2015. № 1 (259). С. 26—29.
- [2] *Кутенёв В.Ф.* Перспективы совершенствования ДВС // Двигатель. 2005. № 6 (42). С. 12—14.
- [3] *Hofbauer Peter.* Der Dieselmotor für das Kompaktaute VW Golf. Teil 2. // MTZ. 1977. 38. № 7—8. С. 301—306.

SOME POSSIBILITIES TO DIMINISH THE SMOKE OF ESCAPE GASES OF DIESEL WITH VARIABLE DISPLACEMENT

R.O. Kamyshnikov

The Department of Heat Engineering and Heat Engines
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

There examined some possibilities to diminish a fuel consumption and smoky of escape gases of diesel with variable displacement.

Key words: diesel, efficiency, ecology, regimes of low load, disconnection of cylinders, cylinder cut off, variable displacement of diesel

REFERENCES

- [1] Patrakhaltsev N.N., Anoshina T.S., Kamyshnikov R.O. Improvement in Engine Fuel Efficiency and Emission Performance at Low Loads by means of Displacement Control. *Dvigatelistroyeniye*. 2015. № 1 (259). Pp. 26—29. [Patrakhaltsev N.N., Anoshina T.S., Kamyshnikov R.O. Snigienie rashoda topliva i vrednyh vybrocov // *Dvigatelistroyeniye*. 2015. № 1 (259). Pp. 26—29.]
- [2] Kuteniev V.F. ICE perfecting prospects. *Dvigatel*. 2005. № 6 (42). Pp. 12—14. [Kuteniev V.F. Perspektivy sovershenstvovaniya DVS // *Dvigatel*. 2005. № 6 (42). Pp. 12—14.]
- [3] *Hofbauer Peter. Der Dieselmotor fur das Kompaktaute VW Golf. Teil 2. // MTZ*. 1977. 38. № 7—8. Pp. 301—306.