

ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ ДИЗЕЛЕЙ С МНОГОФАЗНЫМ ВПРЫСКИВАНИЕМ ТОПЛИВА

В работе проанализированы основные требования к современным автомобильным двигателям по экономическим и экологическим показателям. Одновременное выполнение жестких экологических и улучшенных топливно-экономических показателей двигателя как правило трудно реализуемо. Внедрения конструктивных изменений по улучшению экологических показателей автомобильных двигателей может повлечь за собой ухудшение топливной экономичности. Одним из основных направлений улучшения экологических показателей дизельных двигателей является применение системы «CommonRail». На примере осциллограммы многофазного впрыскивания топлива, полученной при использовании стенда-тренажера «Система CarTrainCommonRail» проведена оценка топливной экономичности дизелей по величине термического к.п.д. При анализе осциллограммы выявлено, что использование многофазного впрыскивания топлива позволяет значительно улучшить экологические показатели, дизельного двигателя, снизить шумность и «жесткость» его работы. Однако использование такого метода создает предпосылки к снижению теплоиспользования впрыснутого топлива в цилиндр двигателя и тем самым ухудшению экономичности цикла. Путем анализа термодинамических циклов тепловых двигателей с различными способами подвода теплоты определено, что потери по коэффициенту полезного действия с пересчетом на топливную экономичность составляют до 10%. Применение многофазного впрыскивания топлива в двигателе решает проблему по выполнению жестких экологических стандартов для автотранспортных средств, используемых в городах и населенных пунктах. Для двигателей транспортно-технологических машин и оборудования, имеющих достаточно большую мощность и соответствующий расход топлива, к тому же использующихся в не населенных пунктах применение многофазного впрыскивания топлива не всегда целесообразно.

Ключевые слова: удельный эффективный расход топлива, термический к.п.д., относительный к.п.д., многофазное впрыскивание топлива.

В настоящее время для выполнения все более ужесточающихся требований к вредным выбросам и шуму автотранспортных средств, регламентируемых государством, улучшаются экономические и экологические показатели двигателей [1], [10]. Для двигателей автотранспортных средств первостепенную значимость имеют минимальный удельный расход топлива, выбросы оксидов азота и углерода, полициклических ароматических углеводородов (а для дизельных двигателей – твердых частиц), допустимый уровень шума [2], [3], [4], [5]. Снижения выбросов вредных веществ автомобильными двигателями можно достичь: воздействием на рабочий процесс (смесеобразование и сгорание) и конструкцию двигателя; нейтрализацией токсичных компонентов в выпускной системе двигателя; применением альтернативных (более экологически чистых) топлив; обеспечением нормальных условий эксплуатации автомобиля (режимов движения, технического состояния двигателя и автомобиля, качества топлива и т. д.). Как правило, одновременное выполнение жестких экологических и улучшенных топливно-экономических показателей двигателя трудно реализуемо. Известно, что в боль-

шинстве случаев требования экологических стандартов выполняются, главным образом за счет дефорсирования двигателя, применения рециркуляции отработавших газов и т. д., а это влечет за собой ухудшение теплоиспользования рабочего процесса и соответственно топливной экономичности [6], [7], [8].

Как известно топливная экономичность двигателя определяется величиной удельного эффективного расхода топлива:

$$b_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e} \cdot 10^3, \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}, \quad (1)$$

где H_u – теплотворная способность топлива, кДж/кг; η_e – эффективный коэффициент полезного действия действительного цикла (к.п.д.), характеризует теплоиспользование в двигателе и учитывает все его тепловые потери. Между эффективным к.п.д. действительного цикла (η_e) и термическим к.п.д. термодинамического цикла (η_t), который поддается анализу с помощью основных положений технической термодинамики существует зависимость:

$$\eta_e = \eta_o \cdot \eta_r, \quad (2)$$

где η_o – относительный к.п.д. двигателя, который оценивается в современных двигателях величиной 0,6...0,7.

$$\eta_i = 1 - \frac{T_z}{T_b}, \quad (3)$$

где T_z – температура рабочего тела после подвода к нему теплоты; T_b – температура рабочего тела после его расширения.

Таким образом, топливная экономичность двигателя в значительной мере определяется величиной его термического к.п.д.

В современных конструкциях дизелей применяется многофазное впрыскивание топлива. На рис.1 представлена осциллограмма многофазного впрыскивания топлива, снятая с использованием стенда-тренажера «Система Car Train Common Rail». Считается, что многофазное впрыскивание позволяет сократить период задержки воспламенения, связанного с тем, что впрыскивание основной порции топлива осуществляется в среду, в той или иной мере гомогенизованную и ионизированную протеканием холодно-пламенных реакций окисления первой начальной фазы подачи топлива. В результате скорость выделения теплоты в начальной фазе сгорания заметно снижается в сравнении с одноразовым (традиционным) впрыскиванием. При такой организации процесса сгорания (в начальной фазе) снижается «жесткость», происходит снижение шумности двигателя и дымности отработавших газов. Известно из теории процесса сгорания в тепловых двигателях, что подавление скорости выделе-

ния теплоты в начальной фазе сгорания в районе верхней мертвой точки (ВМТ), где теплота преобразуется в работу наиболее эффективно, создает предпосылки к снижению теплоиспользования и тем самым экономичности цикла [9]. Необходимо обратить внимание (рис.1) на то, что впрыскивание топлива начинается после ВМТ (точка «0»), это характерно для современных дизелей, где применяется топливо с высоким цетановым числом и нет необходимости в угле опережении впрыскивания топлива.

На осциллограмме начальная фаза (предварительный впрыск) отображается в виде очень короткого электрического импульса электромагнитного клапана. Между стадиями предварительного и основного впрыскивания, на магнитный клапан в форсунке электропитание не поступает. В заключение, происходит впрыскивание основного количества топлива, соответствующего режиму работы двигателя. В стадии основного впрыскивания, ход иглы значительно больше, чем в стадиях предварительного и заключительного впрыскивания. Для обеспечения быстродействия впрыскивания топлива современные форсунки применяются с пьезоэлектрическим управлением. Благодаря заключительному последующему впрыскиванию, температура отработавших газов повышается. Этот эффект используется для регенерации системы нейтра-

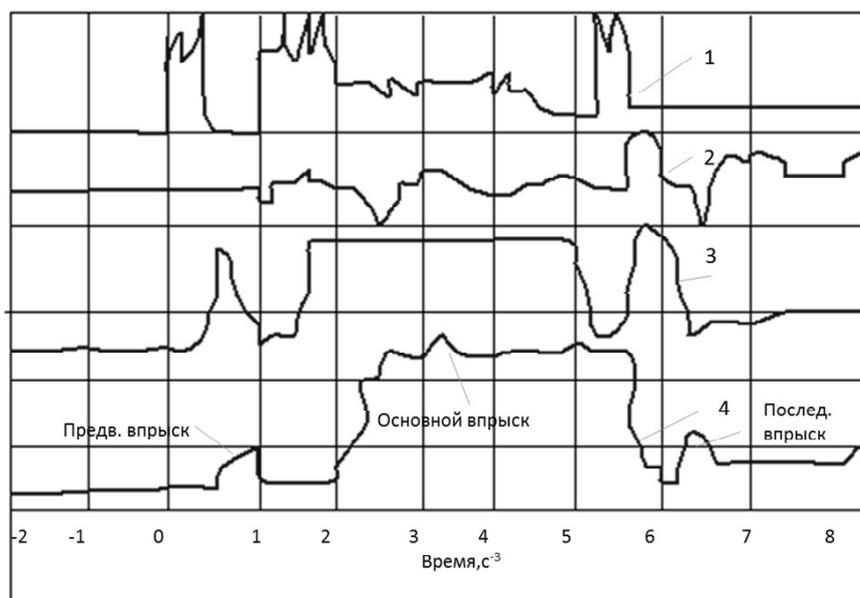


Рисунок 1. Осциллограмма впрыскивания топлива в дизеле с системой «Common Rail»: 1 – протекание тока в обмотке электромагнита форсунки; 2 – изменение давления в подводящей линии форсунки; 3 – изменение хода иглы форсунки; 4 – протекание процесса впрыскивания топлива в цилиндр двигателя

лизации отработавших газов в сажевом фильтре и в накопительном катализаторе. Известно из теории термодинамических циклов тепловых двигателей, что наибольший эффект теплоиспользования рабочего тела обеспечивается при быстром сгорании топлива на линии расширения вблизи ВМТ, т. е. при реализации цикла «а-сII-z-b». (рис.2).

Стремление уменьшить величину цикловой подачи топлива вблизи ВМТ (так называемый «предварительный впрыск») и подача топлива в конце процесса расширения «последующий впрыск») снижает эффект преобразования теплоты в работу-к.п.д. двигателя. Как видно из графиков (рис.2), наибольшая величина термического к.п.д. циклов (η_t) с одинаковой степенью сжатия обеспечивается у цикла с подводом теплоты при постоянном объеме «а-с^I-z-b», у которого наибольшая величина температуры рабочего тела T_z , при одинаковых значениях температуры T_b . Многофазное впрыскивание топлива соответствует циклу «а-с^I-z^I-z-b», где наибольшая температура рабочего тела T_z^I меньше T_z .

Последующий впрыск топлива в конце процесса расширения увеличивает температуру T_b и тем самым дополнительно снижает величину η_t .

Для количественной оценки эффективности организации рабочего процесса в двигателе с подводом теплоты при постоянном объеме воспользуемся известной в термодинамике формулой:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon} \frac{1}{k-1} \cdot \frac{1 \cdot \rho^{k-1}}{(1-I)+kI(\rho-I)}, \quad (4)$$

где ε – степень сжатия, в расчетах для двигателя, с которого снималась осциллограмма, принята 16,6; K – показатель адиабаты рабочего тела (для дизельного варианта двигателя происходит сжатие воздуха) – 1,4; λ – степень повышения давления рабочего тела в ходе сгорания (зависит от нагрузки двигателя), принята 2,4; ρ – степень расширения рабочего тела в

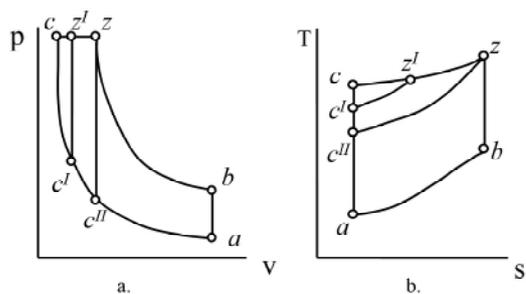


Рисунок 2. Термодинамические циклы тепловых двигателей с различными способами подвода теплоты: а – в координатах p–V (давление-объем рабочего тела в цилиндре); б – в координатах T–S (температура-энтропия рабочего тела в цилиндре)

ходе сгорания (зависит от продолжительности впрыскивания топлива).

Для рабочего процесса двигателя с однофазным впрыском топлива величина « ρ » принималась равной 1,5 (у традиционных дизелей со штатной настройкой топливной аппаратуры высокого давления), для многофазного впрыскивания – соответственно 2 и 2,5.

Результаты расчетов величины η_t показали, что в большей степени она зависит от величины ρ – продолжительности впрыскивания топлива. При значениях $\rho=1,5$ величина η_t составляет 0,60, при значениях $\rho=2; 2,5$ величина η_t составляет соответственно 0,57...0,55.

Таким образом, уже на уровне теплоиспользования впрыснутого топлива в цилиндр двигателя потери по коэффициенту полезного действия с пересчетом на топливную экономичность (1) составят до 10%. Очевидно, что применение многофазного впрыскивания топлива в двигателе решает проблему по выполнению жестких экологических стандартов для автотранспортных средств, используемых в городах и населенных пунктах. Для двигателей транспортно-технологических машин и оборудования, имеющих достаточно большую мощность и соответствующий расход топлива, к тому же использующихся в не населенных пунктах применение многофазного впрыскивания топлива не всегда целесообразно.

12.02.2015

Список литературы:

1. Корнилов Г.С. Теоретическое и экспериментальное обоснование способов улучшения экологических показателей и топливной экономичности автомобильных дизелей [Текст]: дис. ... д-р. техн. наук: 05.04.02: утв. Корнилов Геннадий Сергеевич. – Москва, 2005. – 439 с.
2. Курманов В.В., Мазинг М.В. Дизельная топливная аппаратура нового поколения для обеспечения экологических норм // Автомобили и двигатели: сб. науч. трудов. Вып.236. – М.: Изд. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2006. – с.62-68.

3. Мазинг М.В., Курманов В.В. Топливная аппаратура для автомобильных дизелей экологического класса IV//Труды НАМИ. – 2013. – № 252. – с.32-42.
4. Мазинг, М.В. Дизельные аккумуляторные топливные системы нового поколения типа «Common Rail» / М.В. Мазинг, Ф.И. Пинский, О.В. Олисевиц // Мобильная техника. – 2004. – №1. – с.31-36.
5. Обозов А.А., Субботенко Д.И., Тараканов В.В. Оптимизация процессов в топливной аппаратуре дизеля с целью улучшения его экономических и экологических характеристик // Вестник Брянского государственного технического университета: Брянск. 2014. № 2(42) – с.45-51.
6. Свистула А.Е. Двойная подача топлива в дизеле с топливной системой непосредственного действия разделённого типа /А.Е. Свистула, Г.Д. Магиевский/ Ползуновский вестник.– 2009.– №4. – с.166-173.
7. Свистула А.Е. Результаты испытаний дизельного двигателя на рапсовом масле с использованием топливной аппаратуры Common Rail / А.Е. Свистула, М.И. Мысник/ Ползуновский вестник.– 2012.– №3/1. – с.106-112.
8. Тер-Мкртчян Г.Г., Мазинг М.В., Ветошников А.Г. Обеспечение малотоксичного рабочего процесса форсированных перспективных дизельных двигателей // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – с.56-62.
9. Штайн Г.В. К вопросу о влиянии многофазного впрыскивания топлива на теплоиспользование в дизеле с системой «Common Rail» // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной науч.-техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – с.288-293.
10. Яковлев С.В. Повышение экономичности и снижение вредных выбросов улучшением смесеобразования в дизеле с системой Common Rail. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02: утв. Яковлев Сергей Валентинович. – Барнаул, 2012. – 116 с.

Сведения об авторах:

Штайн Геннадий Вольфович, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин Тюменского государственного нефтегазового университета, кандидат технических наук, доцент

Панфилов Александр Анатольевич, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин Тюменского государственного нефтегазового университета, кандидат технических наук

625000, г.Тюмень, ул.Володарского, 38, e-mail: panfilovaa72@yandex.ru