

На правах рукописи

Медведев Алексей Николаевич

**ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЧАСТИ
ЦИЛИНДРОВ**

Специальность 05.04.02 – «Тепловые двигатели»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
2008

Диссертация выполнена на кафедре «Эксплуатация автомобильной техники» Челябинского высшего военного автомобильного командно-инженерного училища (военного института).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Драгунов Г.Д.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Морозова В.С.
кандидат технических наук, Егоров В.В.

Ведущее предприятие – ОАО «КАМАЗ».

Защита состоится 26 ноября 2008 г., в 13 часов, на заседании диссертационного совета Д212.298.09 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, зал диссертационного совета (ауд. 1001 гл. корп.)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, на имя ученого секретаря диссертационного совета Д212.298.09. E-mail: D212.298.09@mail.ru

Автореферат разослан «___» октября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор  Е.А. Лазарев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Экономичность поршневых двигателей в значительной степени зависит от режимов их работы. Если на номинальном или близком к нему режимах экономические показатели обычно достигают оптимальных или близких к ним значений, то на частичных нагрузках и холостом ходу (ХХ) топливная экономичность работы дизелей может заметно ухудшаться. Вместе с тем в эксплуатационных режимах большинства транспортных средств режимы холостого хода и малых нагрузок составляют значительную долю.

Эксплуатируя силовые установки при низких температурах, а также для привода дополнительного оборудования, многие водители часто вообще не останавливают двигатель в течение рабочей смены. Это приводит к значительному расходу топлива и снижению ресурса дизеля.

В последнее время в нашей стране и за рубежом возрос интерес к такому направлению улучшения экономических показателей двигателей, в особенности автомобильных дизелей, как отключение части цилиндров (отключение подачи топлива) на режимах холостого хода и частичных нагрузках.

Метод отключения части цилиндров (отключение топливоподачи) используют на сравнительно крупных дизелях (тепловозных, судовых, дизелях строительных и дорожных машин, тракторов, большегрузных автомобилей и т. д.). В таких дизелях оказалось возможным применение сложных устройств в виде индивидуальных для каждого цилиндра топливного насоса высокого давления (ТНВД), многосекционных золотниковых ТНВД, также насос-форсунок, отключение топливоподачи в цилиндры дизеля в виде электромагнитных и пневматических клапанов. Для автомобильных дизелей с малоразмерной топливной аппаратурой такие решения неприемлемы по конструктивной сложности. Кроме того, автомобильные дизели работают в более широком диапазоне скоростных режимов и нагрузок и для этих условий вопрос отключения топливоподачи недостаточно изучен.

Таким образом, имеется необходимость проведения исследования и практического решения задачи по разработке устройства отключения топливоподачи, теоретических положений работы автомобильного дизеля с отключением части цилиндров и экспериментального подтверждения этих положений и требований.

В качестве объекта исследования взят дизель КАМАЗ-740.10.

Цель работы – научное обоснование возможности повышения топливной экономичности на режимах холостого хода и малых нагрузок отключением (включением) топливоподачи в части цилиндров многоцилиндрового автомобильного дизеля.

Задачи исследования. Для достижения указанной цели в диссертации были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработать теоретические положения экономии топлива при работе дизеля с отключением части цилиндров от подачи топлива.

2. Разработать математическую модель и методику количественной оценки влияния отключения цилиндров на топливную экономичность дизеля.

3. Разработать конструкцию устройства по отключению топливоподачи в части цилиндров.

4. Провести экспериментальное подтверждение адекватности математической модели, эффективности метода и устройства осуществления отключения цилиндров.

Научная новизна работы

1. Обосновано, что экономия топлива на холостом ходу и малых нагрузках при отключении части цилиндров определяется зависимостью индикаторного КПД от нагрузки P_i .

2. Разработана математическая модель оценки влияния отключения цилиндров на топливную экономичность дизеля, на основе аналитического представления зависимости индикаторного КПД от среднего индикаторного давления. На ее основе получены зависимости для оптимального по улучшению экономичности числа отключаемых цилиндров на различных скоростных режимах холостого хода и малых нагрузок.

3. Обоснованы режимы отключения (включения) цилиндров дизеля для достижения наибольшей топливной экономичности.

Практическая ценность работы. Разработанная методика определения режимов и эффективного количества отключаемых цилиндров позволяет решить прикладную задачу в области проектирования и создания устройств для отключения цилиндров автомобильного дизеля. Разработана новая схема отключения подачи топлива в части цилиндров, в топливном насосе высокого давления, первичные этапы апробации которой проводились на кафедре «Двигатели» и кафедре «Эксплуатация автомобильной техники» Челябинского высшего военного автомобильного командно-инженерного училища (военного института). Разработано устройство для отключения части цилиндров.

Реализация работы. Результаты исследований и рекомендации переданы в ведущую организацию ОАО «КАМАЗ» и приняты к использованию в дальнейших конструкциях дизелей семейства автомобилей КАМАЗ:

1) при разработке новой конструкции ТНВД для дизелей нового поколения;

2) рассматривается вопрос на внедрение в производство при выпуске дизелей КАМАЗ-7403.10, КАМАЗ-740.30, КАМАЗ-740.31, КАМАЗ-740.50, а также при создании опытных дизелей нового поколения (Евро-4,5 и т. д.).

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научно-технических конференциях в Южно-Уральском государственном университете (ЮУрГУ), Челябинском государственном агроинженерном университете (ЧГАУ) и Челябинском высшем военном автомобильном командно-инженерном училище (военном институте) ЧВВАКИУ (ВИ). Обсуждались на заседаниях кафедр «Автомобили» и «Двигатели внутреннего сгорания» ЮУрГУ в 2005-2007 гг., на заседаниях кафедры «Тракторы и автомобили» ЧГАУ в 2002-2004 гг., на заседаниях кафедр «Двигатели» и «Эксплуатация автомобильной техники» ЧВВАКИУ (ВИ) в 2002-2008 гг., а также в межвузовских конкурсных работах и отчетах по НИР.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 7 печатных работ, в том числе одна работа в издании, рекомендованном ВАК, и один патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы, приложения и содержит 142 страницы, в том числе 129 страниц машинописного текста, 41 иллюстрацию и 25 таблиц. Список использованной литературы включает 67 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, кратко раскрыто содержание диссертации.

В первой главе представлен обзор исследований по проблемам топливной экономичности различного типа дизелей при отключении цилиндров. Определенные научные и практические результаты достигнуты в работах ЦНИИ МФ, РУДН, МАДИ, ПО «Пенздизельмаш», ХИИТ, НИИЖТ РЖД, НТЦ «КАМАЗ», ЯМЗ, ООО «ЧТЗ–УРАЛТРАК», НПО ЦНИТА и в трудах известных ученых, таких как: Патрахальцев Н.Н., Берзний В.В., Олесов И.Ю., Передрий В.Ф., Эмиль М.В., Симсон П.Э. Лазарев А.А., Суркин В.И., Линник А.В., Шатров Е.В., Естифеев Б.В., Фудзисава Хидэя, Бергман Норст, Нетман Ричард, Сугасава Фукаши, Камлейтнер Эвальд, Франк Тома, Санака Йоо и др. Работы по исследованию отключения цилиндров (топливоподачи) на холостом ходу и малых нагрузках в основном посвящены и велись на сравнительно крупных дизелях (тепловозных, судовых, дизелях строительных и дорожных машин, тракторов, большегрузных автомобилей и т. д.). Но на автомобилях средней и малой грузоподъемности этот метод не использовался, за исключением некоторых исследований РУДН, МАДИ, а также зарубежных фирм («Форд», BMW, «Дженерал Моторс», «Порше», «Мерседес-Бенц» и других). Объясняется это сложностью конструктивного его оформления в малоразмерной топливной аппаратуре дизелей таких автомобилей.

Поскольку процесс отключения цилиндров на холостом ходу и малых нагрузках в первую очередь связан с отключением топливоподачи в

определенные цилиндры, то наибольший интерес для исследования автомобильного дизеля представляет именно этот способ отключения цилиндров. Попытки применения результатов таких исследований на транспортных дизелях КАМАЗ-740, ЯМЗ-238, DS-11, Д-240 и MAN показали, что этот вопрос требует дальнейшего изучения, в направлении отключения топливоподачи в цилиндры дизеля, за счет совершенствования конструкции топливной аппаратуры. Это связано с тем, что повышение экономичности дизелей связано в основном со снижением неполноты сгорания топлива, тепловых и механических потерь.

У дизелей при отключении подачи топлива в часть цилиндров, когда оставшиеся работающие цилиндры совершают большую работу, цикловые подачи топлива в этих цилиндрах возрастают. Это приводит к улучшению распыливания топлива, распределению его по объему камеры сгорания, уменьшению неравномерности подачи топлива по секциям ТНВД и снижению нестабильности подач топлива в последовательности циклов, что благоприятно сказывается на индикаторном КПД и других показателях работы дизеля.

Таким образом, использование способа отключения только топливоподачи на дизелях транспортных средств средней грузоподъемности, на режимах холостого хода и малых нагрузок для повышения топливной экономичности требует разработки расчетных методов определения и обоснования количества отключаемых цилиндров, режимов работы дизеля, на которых это отключение эффективно. Не изучен вопрос о режимах включения цилиндров и возможном влиянии этого переходного режима на работу машин.

Сформулированы задачи исследования, перечисленные выше в общей характеристике работы.

Вторая глава посвящена разработке математической модели и метода теоретического обоснования режимов отключения и включения топливоподачи части цилиндров автомобильного дизеля для экономии топлива. Критерием эффективности отключения топливоподачи части цилиндров дизеля выбран часовой расход топлива G_m .

Получено аналитическое представление зависимости индикаторного КПД от среднего индикаторного давления. Совокупное влияние факторов: совершенство процесса сгорания и изменение коэффициента наполнения η_v приводит к тому, что с увеличением среднего индикаторного давления индикаторный КПД сначала растет, а затем уменьшается. Таким образом, для зависимости индикаторного КПД от нагрузки характерно наличие максимума $\eta_{i\ max}$. Это и позволяет в зоне малых нагрузок, пока среднее индикаторное давление P_i в отдельных цилиндрах не превышает среднего индикаторного давления при \max КПД $P_{i\ in\ i}$, повышать общее среднее индикаторное давление дизеля $P_{i\ \Sigma}$ путем отключения подачи топлива в

части цилиндров и повышения среднего индикаторного давления в работающих цилиндрах P_{ip} до P_{ini} . Для характеристики режима работы желательно использовать баланс мощностей и работ, которые необходимо выразить через среднее индикаторное давление P_i и среднее давление механических потерь P_m отдельных цилиндров.

Выразив эффективную нагрузку в виде зависимости среднего эффективного давления P_e , среднего индикаторного давления работающих цилиндров P_{ip} , количества работающих цилиндров n_p , давления механических потерь P_m и общего числа цилиндров n дизеля:

$$P_e \cdot n = P_{ip} \cdot n_p - P_m \cdot n, \quad (1)$$

$$P_{ip} = \frac{P_e \cdot n + P_m \cdot n}{n_p} = \frac{(P_e + P_m) n}{n_p}, \quad (2)$$

Для режима холостого хода, когда $P_e = 0$,

$$P_{ip} = P_m \cdot n / n_p$$

Среднее индикаторное давление P_i возрастает обратно пропорционально числу работающих цилиндров или пропорционально отношению n/n_p .

Для получения более общей зависимости η_{ipb} от нагрузки P_i и числа отключенных цилиндров необходимо выразить аналитической зависимостью $\eta_i = f(P_i)$.

Анализ вида этой зависимости для дизелей позволил определить ее следующие свойства:

- 1) функция непрерывна;
- 2) функция гладкая;
- 3) функция имеет один явно выраженный максимум η_{imax} при P_{ini} ;
- 4) наименьшее значение P_{imin} равно P_m и при этом $\eta_i = \eta_{imin}$;

Для проводимого исследования основное значение имеет левая ветвь зависимости, когда индикаторный КПД η_i уменьшается при снижении среднего индикаторного давления P_i .

Для аппроксимации такой характеристики используем параболическую зависимость типа: $y = a - bx^2$.

Представим зависимость безразмерной величины индикаторного КПД η_i от безразмерного относительно среднего индикаторного давления \bar{P}_i (рис. 1), определяющегося как отношение среднего индикаторного давления P_i к среднему индикаторному давлению при максимальном КПД

$$P_{ini}: \quad \bar{P}_i = \frac{P_i}{P_{i\eta_i}}$$

Представим аналитически эту зависимость в виде квадратичной параболы: $\eta_i = a - b(\bar{P}_i - 1)^2$ (3)

Значение коэффициентов уравнения (3) a и b найдем из начальных условий.

При $\bar{P}_i = \bar{P}_{i \min}$, $P_e = 0$ и $\bar{P}_i = \bar{P}_m$; $\eta_i = \eta_{i \min}$

При $P_i = P_{i \eta_i}$; $\bar{P}_i = 1$; $\eta_i = \eta_{i \max}$

Подставив эти условия в (4), получим

$$\eta_i = \eta_{i \max} - \frac{\eta_{i \max} - \eta_{i \min}}{(\bar{P}_m - 1)^2} (\bar{P}_i - 1)^2; \quad (4)$$

Подставим в уравнение (4) среднее индикаторное давление работающих цилиндров $\bar{P}_{i\rho}$ при отключении $n-n_p$ цилиндров:

$$\eta_i = \eta_{i \max} - \frac{\eta_{i \max} - \eta_{i \min}}{(\bar{P}_m - 1)^2} \left(\bar{P}_{i\rho} \frac{n}{n_p} - 1 \right)^2 \quad (5)$$

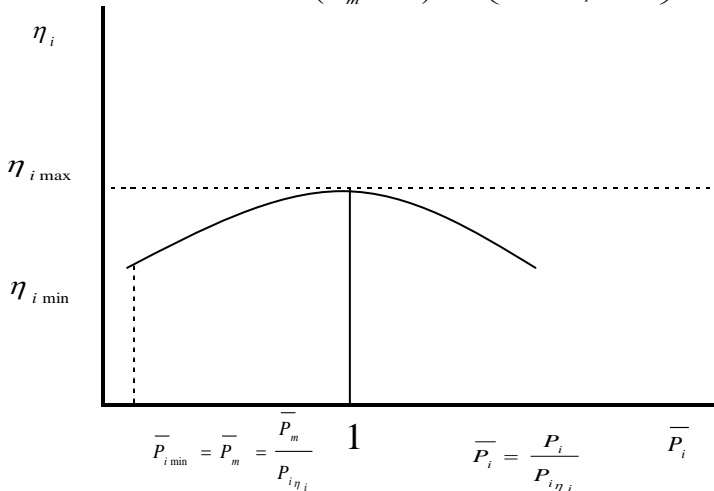


Рис. 1. Зависимость индикаторного КПД η_i от относительного среднего индикаторного давления \bar{P}_i .

Для определения числа работающих или отключенных цилиндров, при которых обеспечивается максимальный индикаторный КПД, продифференцируем уравнение (5) по n/n_p . Следует учесть, что n/n_p величина дискретная и для дифференцирования нужно допустить возможность любого частичного отключения или уменьшения подачи топлива хотя бы в один цилиндр. Полученное значение следует округлить до целого числа в большую или меньшую сторону и проверить, какое из них соответствует оптимальному по снижению расхода топлива. Будем считать при этом, что при отключении части цилиндров зависимость

$\eta_i = f(P_i)$ для работающих цилиндров не меняется и, следовательно, $\eta_{i \max}$, $\eta_{i \min}$, $\overline{P_m}$ являются при дифференцировании величинами постоянными:

$$\frac{\partial \eta_i}{\partial \left(\frac{n}{n_p} \right)} = - \frac{\eta_{i \max} - \eta_{i \min}}{(\overline{P_m} - 1)^2} \frac{1}{2} \left(\overline{P_i} \frac{n}{n_p} - 1 \right) \cdot \overline{P_{ip}} \quad (6)$$

Приравняем производную $\frac{\partial \eta_i}{\partial \left(\frac{n}{n_p} \right)}$ нулю, получим условие

достижения максимального индикаторного КПД в работающих цилиндрах и при отключении части цилиндров:

$$- \frac{\eta_{i \max} - \eta_{i \min}}{(\overline{P_m} - 1)^2} \frac{1}{2} \left(\overline{P_i} \frac{n}{n_p} - 1 \right) \cdot \overline{P_i} = 0 \quad \text{или} \quad \left(\overline{P_i} \frac{n}{n_p} - 1 \right) = 0 \quad (7)$$

так как другие случаи $\overline{P_i} = 0$, $(\eta_{i \max} - \eta_{i \min}) = 0$ для данной задачи не имеют реального смысла.

Из уравнения (7) следует, что максимальный индикаторный КПД и, следовательно, топливная экономичность дизеля на режимах холостого хода и близким к ним режимам малых нагрузок достигается при отключении подачи топлива в части цилиндров по соотношению:

$$\frac{n}{n_p} = \frac{1}{\overline{P_i}}, \quad (8)$$

а так как $\overline{P_i} = \frac{P_i}{P_{i\eta_i}}$, то $\frac{n}{n_p} = \frac{P_{i\eta_i}}{P_i}$ или $\frac{n_p}{n} = \frac{P_i}{P_{i\eta_i}}$.

Для режима холостого хода $P_i = P_m$, тогда $\frac{n_p}{n} = \frac{P_m}{P_{i\eta_i}} = \frac{\overline{P_m}}{1}$.

Величину достижимого индикаторного КПД при отключении части цилиндров определим из уравнения (5), подставив в него значение (8):

$$\eta_i = \eta_{i \max} - \frac{\eta_{i \max} - \eta_{i \min}}{(\overline{P_m} - 1)^2} \left(\overline{P} \frac{1}{\overline{P_i}} - 1 \right)^2, \quad (9)$$

то есть $\eta_i = \eta_{i \max}$, получим максимально возможный индикаторный КПД для данного дизеля на данном скоростном режиме. Если число отключенных цилиндров будет меньше или больше чем определенное по уравнению (7), то достигнутый η_i получим меньше, чем $\eta_{i \max}$.

Если характеристика дизеля такова, что $\eta_{imin} \approx \eta_{imax}$, то есть нет выраженного максимума КПД, то и в отключении цилиндров нет никакого смысла, так как этим способом невозможно улучшить топливную экономичность.

При $n = 1000, 1200, 1400, 2600 \text{ мин}^{-1}$ получены зависимости индикаторного КПД от нагрузки P_i , $\eta_i = f(P_i)$, дизеля КАМАЗ-740.10-20 (рис. 2).

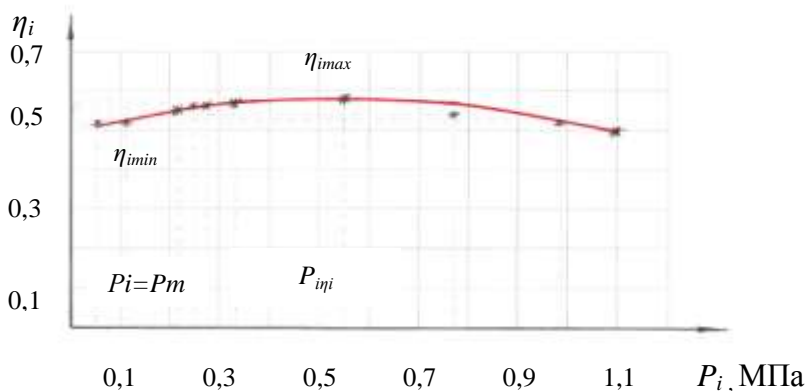


Рис. 2. Зависимость индикаторного КПД η_i от нагрузки P_i при $n_{\partial \partial} = 1000 \text{ мин}^{-1}$.

а) * - зависимость экспериментальная; б) — - зависимость расчетная

В третьей главе представлена методика экспериментальных исследований. Проведение экспериментальных исследований осуществлялось в три этапа.

На первом этапе определены базовые характеристики дизеля: расход топлива на холостом ходу при $P_e = 0$ и всех работающих цилиндров для различных частот вращения коленчатого вала $n = 800, 1000, 1200, 1400 \text{ мин}^{-1}$. Измерялся часовой расход топлива G_m дизеля.

Величина часового расхода топлива при работающих всех восьми цилиндрах соответствовало техническим характеристикам, установленным заводом-изготовителем.

На втором этапе экспериментально проверялась принципиальная возможность отключения количества цилиндров от одного до четырех по условиям пуска и устойчивости работы дизеля на режиме холостого хода.

Во всех случаях дизель пускался хорошо. Работа дизеля на четырех, пяти, шести и семи цилиндрах устойчивая. Повышения вибрации дизеля не

отмечено. Температурный режим охлаждающей жидкости и масла устанавливался близким к постоянному на всех скоростных режимах и соответствовал: $T_{ож}=80 \div 85$ °С, $T_{м}=65 \div 70$ °С.

На третьем этапе определялись возможности улучшения экономичности при отключении двух и четырех цилиндров на частотах вращения коленчатого вала $n = 800, 1000, 1200, 1400$ мин⁻¹, а в случае получения значительной экономии топлива при $n = 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600$ мин⁻¹.

При определении величины расхода топлива на различных частотах вращения коленчатого вала в диапазоне $n = 800 \div 1400$ мин⁻¹ на холостом ходу без нагрузки работа дизеля оказалась экономически эффективной.

Все эти режимы испытаний характеризовались отсутствием эффективной нагрузки $P_e = 0$, $N_e = 0$, индикаторная мощность определялась мощностью механических потерь $N_i = N_m$.

Стендовые испытания дизеля проводились в лаборатории кафедры «Двигатели» Челябинского ВВАКИУ (ВИ) с 10.04.2005 г. по 16.04.2005 г., на стенде. Оборудование и приборы стенда аттестованы, точность измерения соответствовала ГОСТ 14846-81. В основу методики экспериментального исследования легли стандартные методы, изложенные в ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний».

Измеряемые величины заносились в протокол испытаний. Сохранялось неизменность регулировки дизеля и его систем. Выдерживался минимальный промежуток времени между различными этапами испытаний для обеспечения идентичного технического состояния объекта.

В четвертой главе представлен анализ результатов теоретического и экспериментального исследования, приведены результаты экспериментальных исследований, сделаны выводы по эффективности отключения цилиндров, проведена оценка адекватности математической модели и методики расчета

Теоретическими и расчетными исследованиями было показано, что на рассматриваемых автомобильных дизелях на режимах малых частот вращения коленчатого вала и на холостом ходу можно путем отключения топливopодачи в части цилиндров, за счет повышения индикаторного КПД в работающих цилиндрах, достичь определенной экономии топлива.

В качестве объекта экспериментального исследования выбраны: дизель КАМАЗ-740.10, установленный на полноприводный автомобиль Урал-43201, дизель установлен в серийном исполнении моторного отсека и дизель КАМАЗ-740.10, установленный на стенде кафедры «Двигатели» Челябинского высшего военного автомобильного командно-инженерного училища (военного института). Оба дизеля исполнены первой комплектности, четырехтактные, 8-цилиндровые, V-образные, мощностью 154(210) кВт (л.с.). Системы воздухопоснабжения, выхлопа систем питания топлива, смазки, охлаждения и отработавших газов выполнены в заводском исполнении.

Для решения поставленных задач в ведомой рейке ТНВД был выполнен специальной формы паз (рис. 3), обеспечивающей отключение подачи топлива в цилиндры дизеля одного блока на режимах холостого хода и малых нагрузках.



Рис. 3. Ведомая рейка ТНВД с выполненным пазом

Из расчета режимов отключения подачи топлива четырех цилиндров дизеля определяли положение рейки или ход от нулевой подачи до положения, соответствующего режиму окончания отключения Δh_p на рис. 4.

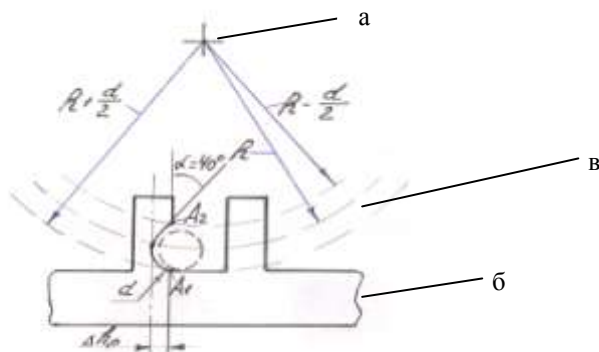


Рис. 4. Рейка ТНВД со специальной формой паза:

а – рычаг реек; б – ведомая рейка; в – траектория рычага реек.

A_1 – точка начала включения подачи топлива;

A_2 – точка окончания включения подачи топлива

В пределах свободного хода рычаг реек не должен касаться паза ведомой рейки, для этого в рейке выполнен паз на глубину $\Delta h_p = 3$ мм с контуром нижней кромки в виде дуги окружности радиуса $R + d / 2 = 37$ мм, а в верхней кромке – дуги $R - d / 2 = 32$ мм (рис. 4).

После касания рычагом реек (а) ведомой рейки (б) в точке A_1 (см. рис. 4) начинается включение цилиндров, то есть перемещается ведомая рейка вплоть до выхода точки касания рычага с пазом ведомой рейки на начальную поверхность паза. Для этого рычаг от точки A_1 выходит на точку A_2 (см. рис. 4). За время, отведенное для включения, необходимо включить все цилиндры на нормальную (согласно техническим условиям) для этого положения рейки подачу топлива.

Ограничением для кривизны профиля паза является отсутствие заклинивания этого механизма кулачкового типа по трению.

Задачей экспериментальных исследований являлось экспериментальная проверка адекватности математической модели и достоверности полученных теоретических результатов, поскольку эти результаты получены на основе модели процесса отключения цилиндров при ряде допущений.

Дизель КАМАЗ-740.10-20, использованный в теоретическом анализе, является опытным образцом с улучшенными экономическими показателями. Его характеристики на момент проведения эксперимента для дизелей КАМАЗ являлись наилучшими. Тем не менее, разность в расходах топлива с серийным дизелем на режиме холостого хода не являлась большой и не превышала 15 %, имеет идентичный качественный характер зависимости от частоты вращения коленчатого вала.

Кроме того, учитывали, что достичь улучшения экономичности отключением подачи топлива в цилиндры дизеля наиболее сложно на дизелях с высокой экономичностью. Поэтому если при теоретической оценке эффективность отключения топливоподачи в цилиндры дизеля доказана для высокоэкономичного дизеля КАМАЗ-740.10-20, то можно ожидать на серийном дизеле не меньшего, а даже большего улучшения экономичности.

При работе дизеля на четырех цилиндрах на режимах холостого хода в диапазоне $n = 1000 \div 1400 \text{ мин}^{-1}$ снижение расхода топлива дизеля, как видно из графика (рис. 5), составило до 6 % от часового расхода при работе дизеля без отключения цилиндров. Из проведенного эксперимента определили, что для дизеля КАМАЗ-740.10 при работе его на холостом ходу при частотах вращения коленчатого вала $n = 1000 \div 1400 \text{ мин}^{-1}$ снижение расхода топлива при отключении четырех цилиндров составляет $0,13 \div 0,15 \text{ кг/ч}$.

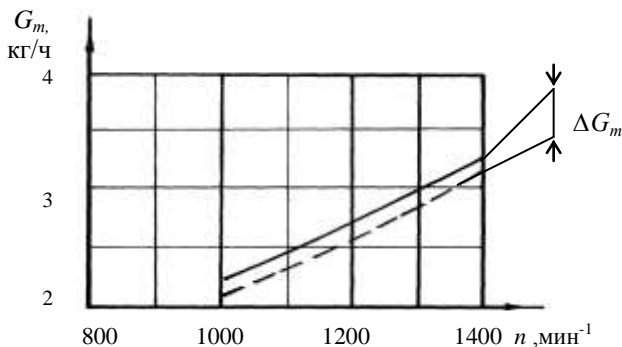


Рис. 5. Характеристика холостого хода G_m исследуемого дизеля:

- а) — при работе восьми цилиндров;
- б) — при работе четырех цилиндров

Для сравнения результаты испытаний приведены на рис. 5 и позволяют сделать следующие выводы:

1. Целесообразное компромиссное для всех режимов число отключаемых цилиндров в восьми цилиндровом дизеле составляет четыре.

2. Наибольшее снижение расхода топлива на режимах пониженных частот вращения коленчатого вала $n = 1000 \div 1400 \text{ мин}^{-1}$.

3. В целом метод позволяет уменьшить расход топлива дизеля на режимах холостого хода при $n = 1000 \div 1400 \text{ мин}^{-1}$ до 6 %.

На рис. 6 представлены результаты расчета улучшения топливной экономичности ΔG_m (сплошная линия) от частоты вращения коленчатого вала $n_{ов}$ при отключении двух цилиндров, здесь значками показаны экспериментальные значения улучшения экономичности ΔG_m в тех же условиях.

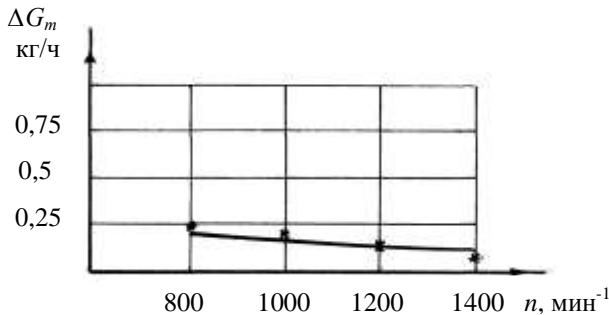


Рис. 6. Уменьшение расхода топлива за счет отключения двух цилиндров:
а) * * * - характеристика экспериментальная; б) — - характеристика расчетная

Сравнение этих данных позволяет утверждать о хорошей сходимости теоретических и экспериментальных зависимостей. Относительная погрешность не превышает 2 %.

Эти результаты позволяют утверждать об удовлетворительной адекватности разработанной математической модели и расчетного метода оценки улучшения топливной экономичности при отключении цилиндров.

ВЫВОДЫ

1. Эффективность отключения топливоподачи в цилиндры автомобильного дизеля с целью экономии топлива на режимах холостого хода и малых нагрузок определяется характером зависимости индикаторного КПД η_i от нагрузки P_i .

2. Обосновано, что экономия топлива на холостом ходу и малых нагрузках при отключении части цилиндров определяется зависимостью индикаторного КПД от изменения нагрузки.

3. Для дизеля КАМАЗ-740.10-20 целесообразно реализовать отключение и рациональное плавное включение подачи топлива в цилиндры, используя разработанную конструкцию рейки V-образного ТНВД.

4. Зависимость индикаторного КПД от нагрузки с достаточной точностью представляется в виде квадратичной параболы, используя в качестве характеристики нагрузки относительное среднее индикаторное давление. В качестве исходных данных для аппроксимации достаточно экспериментальной характеристики Вилланса или расчетных данных по известным методам расчета рабочего цикла.

5. Методика оценки эффективности повышения топливной экономичности по отключению цилиндров и определение оптимального количества отключаемых цилиндров разработана на базе обобщений аналитической зависимости индикаторного КПД от относительного среднего индикаторного давления. Методика является универсальной и возможно ее использование для других типов и марок дизелей.

6. Для дизеля КАМАЗ-740.10-20 теоретически обоснована целесообразность отключения четырех цилиндров. При этом улучшение топливной экономичности составляет при $n_{\partial\epsilon}=1000 \text{ мин}^{-1}$ – 5,6%, при $n_{\partial\epsilon}=1200 \text{ мин}^{-1}$ – 5,1 %, при $n_{\partial\epsilon}=1400 \text{ мин}^{-1}$ – 4,5 %, при $n_{\partial\epsilon}=2600 \text{ мин}^{-1}$ – 0 %. Показано, что наиболее эффективно отключение при малых частотах вращения коленчатого вала.

7. Экспериментальные исследования отключения цилиндров дизеля КАМАЗ-740.10 подтвердили теоретические выводы, адекватности разработанной модели и метода расчета, и позволяют рекомендовать отключение четырех цилиндров одного блока на режимах малых нагрузок и холостого хода. Экономия топлива при этом составляет 0,15 кг на один дизель в час, 55 кг в год и 825 кг за время эксплуатации. Экономический эффект оценивается в сумме 1320 руб. в год, что подтверждено расчетами.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Драгунов, Г.Д. Метод оценки эффективности отключения цилиндров автомобильного дизеля / Г.Д. Драгунов, А.Н. Медведев // *Двигателестроение*. – 2007. – №4 – С. 20–22.

2. Драгунов, Г.Д. Анализ экспериментальных характеристик дизеля на режимах холостого хода и малых нагрузках / Г.Д. Драгунов, А.Н. Медведев // XXVI Российская школа по проблемам науки и технологий. Краткие сообщения: сб. науч. тр. – Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2006. – С. 145–151.

3. Драгунов, Г.Д. Теоретическое обоснование режимов включения и отключения цилиндров автомобильного двигателя для экономии топлива / Г.Д. Драгунов, А.И. Жежера, А.Н. Медведев // *Механика и процессы*

управления: труды XXXIV Уральского семинара: сб. науч. тр. – Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2004. – Том 2. – С. 111–117.

4. Медведев, А.Н. Повышение топливной экономичности и экологической безопасности дизельных двигателей / А.Н. Медведев, Е.П. Меркулов // Научный вестник: выпуск 16. – Челябинск: ЧВАИ, 2003. – С. 38–45.

5. Потапов, А.В. Современные способы повышения экономичности автомобильного транспорта / А.В. Потапов, А.Н. Медведев // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин: научный вестник: сб. науч. тр. – Челябинск: ЧВАИ, 2000. – С. 72–78.

6. Суркин, В.И. Повышение экономичности и экологических показателей работы дизельного двигателя / В.И. Суркин, И.А. Ильчук, А.Н. Медведев // Научно–методический сборник. Выпуск 50. Часть 1. – Омск: Изд–во ОТИ, 2001. – С. 52–56.

7. Суркин, В.И. Повышение топливной экономичности двигателей путем отключения части цилиндров / В.И. Суркин, А.Н. Медведев // Материалы XLII научно–технической конференции ЧГАУ. – Челябинск: Изд–во ЧГАУ, 2003. – С. 252–259.

Патент:

Пат. 2313688 Российская Федерация, МПК⁵¹ F 02 M 59/28, F 02 M 59/06. Устройство отключения части плунжеров v-образного топливного насоса высокого давления многоцилиндрового дизеля / Г.Д. Драгунов, А.Н. Медведев. – № 2006118224/06 2; заявл. 26.05.2006; опубл. 27.12.2007, Бюл. № 36. – 5 с.

Подписано в набор и печать 22.10.2008. Формат бумаги 60x84/16. Объем 1,0 печ. л., 0,93 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Зак. Печать офсетная. Цена свободная. Типография ЧВВАКИУ