

На правах рукописи

Савастенко Эдуард Андреевич

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ
С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ ИЗМЕНЕНИЕМ
ЕГО РАБОЧЕГО ОБЪЁМА**

Специальность 05.04.02 – тепловые двигатели

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва - 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов» на кафедре теплотехники и тепловых двигателей.

Научный руководитель: Заслуженный работник высшей школы РФ,
доктор технических наук, профессор
Патрахальцев Николай Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Козлов Андрей Викторович, ГНЦ РФ
ФГУП «НАМИ»;

кандидат технических наук, доцент
Дуний Андрей Юрьевич, ФГБОУ
ВПО «Московский автомобильно-
дорожный государственный техниче-
ский университет (МАДИ)», каф. теп-
лотехники и автотракторных двигате-
лей.

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Российский государст-
венный аграрный университет -
МСХА им. К.А. Тимирязева»

Защита диссертации состоится 11 октября 2016 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.09 при ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, Рубцовская наб., 2/18, Учебно-лабораторный корпус, ауд. 947.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана на сайте www.bmstu.ru

Автореферат разослан « » _____ 2016 г.

Отзывы на автореферат просим представлять в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью, по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул. д.5 стр.1, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.141.09.

Учёный секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент

Тумашев Р. З.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

С ростом требований к автомобилям, рабочий цикл их двигателей стал смещаться в сторону больших запасов мощности для обеспечения лучших динамических характеристик автомобиля, в то время как потребные мощности для равномерных участков движения остались теми же или даже снизились. В результате в современных условиях эксплуатации автомобилей, особенно в мегаполисах, существенную долю режимов составляют малые нагрузки (МН) и холостые хода (ХХ). Работа на таких режимах сопровождается повышенными расходами топлива и смазочного масла, повышенными выбросами токсичных компонентов отработавших газов и основного парникового газа (CO_2), снижением надёжности и долговечности двигателя и т. д. Существует ряд методов и средств повышения экономичности режимов ХХ и МН. На сегодняшний день одним из перспективных методов решения этих проблем является метод отключения части цилиндров или, иначе, метод регулирования двигателя изменением его рабочего объёма (активного рабочего объёма) - суммы рабочих объёмов тех его цилиндров, в которых происходят процессы выработки механической энергии – активных цилиндров). Для реализации метода применяются различные системы отключения цилиндров или циклов (СОЦЦ).

В качестве положительных эффектов метода регулирования двигателя изменением рабочего объёма (отключением части цилиндров на режимах ХХ и МН) отмечается не только повышение топливной экономичности, а также экологичности, но и уменьшение износов цилиндро - поршневой группы, снижение смолообразования, коксования поршневых колец и клапанов, уменьшение разжижения смазки несгоревшим топливом, повышение теплового состояния двигателя на малых нагрузках и ХХ, ускорение прогрева двигателя после пуска и т. д.

В реальной эксплуатации метод отключения цилиндров двигателей с искровым зажиганием (ДсИЗ) применяется уже сравнительно давно, прежде всего на многоцилиндровых двигателях большой мощности, двигателях легковых автомобилей. Однако до настоящего времени отсутствуют примеры применения метода для широкого класса двигателей, для регулирования двигателя, как изменением количества, так и номеров отключаемых цилиндров. Редко предлагаются рекомендации по регулированию двигателей изменением числа активных цилиндров при реализации конкретных режимов движения автотранспортного средства. Конструктивная сложность реализации метода на двигателях с механическими системами управления дроссельными заслонками и регулирования фаз газообмена ограничивает получение соответствующих результатов экспериментальных исследований. Поэтому целесообразна разработка методов расчётно-экспериментальных исследований.

Всё отмеченное определяет **актуальность** рассматриваемой в работе проблемы.

Целью работы является повышение эксплуатационной топливной экономичности и снижение токсичности выбросов двигателя с искровым зажиганием изменением рабочего объёма.

Указанная цель достигается **решением следующих задач**.

1. Разработать и усовершенствовать расчётно – экспериментальные методики оценки показателей экономичности и экологичности двигателя с искровым зажиганием по экспериментальным универсальным характеристикам при работе двигателя на режимах малых нагрузок.

2. Провести сравнительный анализ универсальных характеристик двигателей с искровым зажиганием по показателям удельных расходов топлива и выбросам токсичных компонентов отработавших газов.

3. Провести численные эксперименты для количественных оценок возможностей повышения экономичности и улучшения экологичности двигателя, работающего на заданных режимах малых или пониженных нагрузок.

4. Разработать рекомендации по выбору числа отключаемых цилиндров или циклов при реализации конкретных режимов движения автомобиля.

Научная новизна. В диссертации проведено преобразование расчётно – экспериментальной методики оценки возможностей повышения экономичности двигателя при отключении цилиндров к условиям бензинового двигателя. Получены новые количественные показатели возможности повышения топливной экономичности двигателя с искровым зажиганием путём изменения активного рабочего объёма двигателя. Предложены алгоритмы управления отключением цилиндров двигателя, работающего на заданных режимах. Доказана целесообразность регулирования двигателя изменением числа и номеров отключаемых цилиндров в зависимости от текущей нагрузки.

Практическая значимость результатов исследования заключается в подтверждении эффективности метода изменения рабочего объёма для повышения экономичности, в том числе, ряда конкретных эксплуатационных режимов работы двигателя автомобиля. Математические модели (расчётно – экспериментальные методики) могут применяться для ускорения разработок и усовершенствований методов и средств регулирования двигателя. Применение предложенных методов позволяет снизить расходы топлива и выбросы токсичных составляющих ОГ при работе двигателя на режимах малых нагрузок и холостых ходов.

Методы исследования. В работе применены расчётно – экспериментальные методы исследования, в том числе математическое моделирование ряда эксплуатационных режимов работы двигателей.

Достоверность результатов исследования определяется достаточной точностью применявшегося оборудования и стендов, на которых были получены опубликованные результаты экспериментальных исследований; сходимостью результатов выполненных численных экспериментов с ранее опубликованной информацией.

Реализация результатов работы. Материалы исследований применяются при выполнении госбюджетной научно-исследовательской работы кафедры, при проведении учебного процесса кафедры, в том числе при подготовке магистерских и кандидатских диссертаций.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях.

1. Международная молодёжная научная конференции по естественным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу - творчество молодых» в МарГТУ (Йошкар-Ола, 2011 г.);
2. Международная конференция «Инженерные системы – 2013», посвящённая 100-летию юбилею первого ректора РУДН профессора С.В. Румянцева (Москва, 2013 г.);
3. Международная научно - практическая конференция молодых учёных, аспирантов и соискателей «Знания молодых: наука, практика и инновации» (Киров, 2013 г.);
4. VII международная научно - практическая конференции «Наука – Технология - Ресурсосбережение» (Киров, 2014 г.);
5. Всероссийский научно-технический семинар (ВНТС) им. проф. В.И. Крутова по автоматическому управлению и регулированию тепло-энергетических установок при кафедре теплофизики МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, 2015 г.);
6. VIII международной научно-практической конференции «Инженерные системы» (Москва, 2015 г.).

Публикации. Основные результаты работы отражены в 16 публикациях, в том числе 10 публикаций в изданиях по списку ВАК РФ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов по главам и общих выводов, списка литературы из 85 наименований. Работа содержит 126 страниц, в том числе 72 иллюстрации, 4 таблицы, 86 страниц машинописного текста основного содержания.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы разработки методов и средств, обеспечивающих повышение качества работы двигателя с искровым зажиганием на режимах малых нагрузок.

В первой главе проведён обзор работ, направленных на решение проблемы. Вопросам разработки и исследования методов и средств орга-

низации рабочих процессов ДВС, работающих на режимах малых нагрузок и холостых ходов, а также их регулирования методами отключения – включения цилиндров или циклов посвящены работы ряда отечественных и зарубежных учёных: Балабин В.Н., Голубков Л.Н., Грехов Л.В., Девянин С.Н., Драгунов Г.Д., Зиняев А.Б., Зленко М.А., Злотин Г.Н., Ерохов В.И., Кутенёв В.Ф., Олесов И.Ю., Островский Г.Л., Патрахальцев Н.Н., Симсон А.Э., Славущий В.М., Тер-Мкртчян Г.Г., Филиппов А.З., Шатров Е.В., Peters G.F., Toyooki Fukui, Uday Sanapadi, Nester T.M. и др.

Из проведенного анализа опубликованных работ можно сделать следующие выводы.

1. Проблема экономии топлива и защиты окружающей среды становится всё более актуальной в связи с увеличением парка автомобилей.

2. Режимы холостого хода и малых нагрузок составляют 30 % и более от общего времени эксплуатации двигателей в городских условиях. Дросселирование топливовоздушной смеси на этих режимах приводит к снижению экономичности и повышению вредных выбросов.

3. Регулирование ДсИЗ и дизельных двигателей изменением рабочего объёма приводит к повышению топливной экономичности и снижению вредных выбросов.

4. Двигатели с системой отключения цилиндров имеют такие недостатки как: пониженная надежность; увеличение стоимости технического обслуживания; высокие требования к квалификации сервисного персонала, что осложняет введение их в массовое производство. Поэтому наибольшее применение и развитие нашли двигатели с отключением систем питания.

5. Все способы отключения цилиндров приводят к увеличению неравномерности крутящего момента ДВС. Влияние на экономические и экологические качества алгоритмов отключения цилиндров ДВС, работающих в режимах малых нагрузок и холостых ходов, изучены недостаточно полно.

Анализ проблемы и сделанные выводы позволяют сформулировать цель и задачи работы.

Во второй главе проведён теоретический анализ возможностей повышения экономичности двигателя, работающего на режимах малых нагрузок, путём отключения цилиндров или циклов, т.е. регулированием активного рабочего объёма. Классические опубликованные характеристики свидетельствуют о существенном возрастании удельного эффективного расхода топлива при снижении нагрузки при данной частоте вращения. Причинами этого являются снижения индикаторного и механического КПД. Снижение индикаторного КПД происходит уже при нагрузке ниже 75 %, а особенно существенно – после 30 – 40 %. В результате эффективный КПД существенно снижается уже ниже 40 % нагрузки. Анализом классических нагрузочных характеристик двигателей показана возмож-

ность снижения удельного эффективного расхода топлива как путём отключения подач горючей смеси в цилиндры, так и дополнительно раздротселированием деактивируемых цилиндров и отключением приводов их клапанов. Причём, показано, что наибольший эффект даёт прекращение подач топлива в отключаемые цилиндры. Прочие мероприятия также повышают экономичность двигателя, но в меньшей степени.

Все экспериментально полученные эффекты достигаются отключением постоянного числа цилиндров (как правило, половины или трети). Предполагается, что при минимальных нагрузках возможно отключение более половины цилиндров, то - есть вплоть до работы на одном активном цилиндре, когда выигрыш в расходе топлива можно ожидать ещё более существенным. Показано, что невозможность во время работы двигателя менять его рабочий объём путём отключения разного числа цилиндров или циклов в зависимости от величины малой нагрузки не обеспечивает получения более высокого экономического эффекта.

Проведены адаптации ранее разработанных методик расчётно-экспериментального исследования показателей экономичности и экологичности двигателя при его регулировании изменением рабочего объёма с использованием универсальных характеристик, применительно к двигателю с искровым зажиганием. Проиллюстрирована необходимость замены ординаты M_e или p_e универсальной характеристики на удельную работу $L_{уд}$. При отключении части цилиндров применение ординаты p_e теряет физический смысл, т.к. нанесённые значения p_e относятся либо к отдельному цилиндру, либо ко всему полноразмерному двигателю, при условии равной загруженности цилиндров. Поскольку при отключении части цилиндров ДВС должен сохранять развиваемые момент, мощность, а также выполняемую полную работу, то сравнение показателей (например, экономичности) следует проводить при использовании ординаты удельной работы двигателя ($L_{уд}$). Удельная работа представляет собой отношение полной работы $L_{полн.}$, выполняемой двигателем на данном режиме, к его активному рабочему объёму. Активный рабочий объём двигателя при регулировании изменяется в соответствии с числом активных цилиндров от i до z . Т.е. $L_{уд} = L_{полн.}/(i \cdot V_h)$, Дж/дм³ для полноразмерного двигателя и $L_{уд} = L_{полн.}/(z \cdot V_h)$, Дж/дм³ для двигателя с частью отключённых цилиндров, т.е. с числом активных цилиндров, равным z . При этом $L_{полн.} = 500 \cdot p_e \cdot i \cdot V_h$, Дж. Именно этот показатель $L_{уд}$ в данном методе является регулируемым (регулируемый активный рабочий объём двигателя). Здесь V_h – рабочий объём одного цилиндра, дм³.

Универсальная характеристика двигателя может быть выполнена в координатах $M_e - n$. Тогда полная работа двигателя на данном режиме (M_e) определяется по формуле $L_{полн.} = 2 \cdot \pi \cdot M_e \cdot n$, Дж. А удельная работа – по формуле $L_{уд} = 2 \cdot \pi \cdot M_e / (z \cdot V_h \cdot n)$, Дж/дм³.

В третьей главе приведена информация об объектах исследования: двигателе Audi V6 автомобиля Audi 100, двигателе ВАЗ автомобиля «Калина», двигателе UPS 292 SC, а также двигателе восьмицилиндровом двигателе BMW. Информация в дальнейшем использована в главе 4 при численных экспериментах. Изложена методика построения топливной характеристики установившегося движения автомобиля при работе двигателя с разным числом активных цилиндров при той же развиваемой двигателем мощности. Методика использована далее в главе 4 при численном исследовании двигателя ВАЗ автомобиля «Калина». Приведена методика оценки экологичности двигателя. Методика применена при моделировании в главе 4 работы двигателя UPS 292 SC.

Выполнена проверка сходимости результатов расчёта метода оценки экономичности с помощью универсальных характеристик ($g_{e,4}$) на примере двигателя BMW 8 Ч 9,3/9,3 с опубликованными экспериментальными результатами $g_{e,4,Э}$ (Таблица 1) при отключении четырёх цилиндров. Здесь Дел. $g_e, \% = ((g_{e,4,Э} - g_{e,4}) / g_{e,4,Э}) \cdot 100 \%$.

Таблица 1

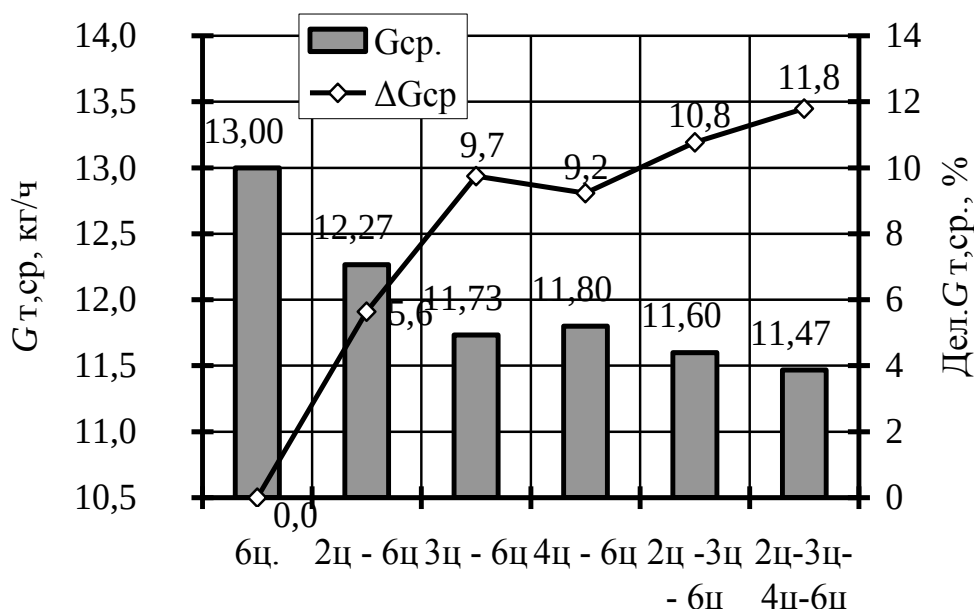
n , 1/мин	$L_{уд,8}$, Дж/дм ³	$g_{e,8}$, г/(кВт·ч)	$L_{уд,4}$	$g_{e,4}$	$g_{e,4}$ Э	$g_{e,4}$, ап.	$g_{e,4}$, Э,ап	Дел. $g_e, \%$
1000	60	717	113	430	550	432	546	20,9
1500	71	600	120	389	470	388	470	17,6
2000	89	500	160	360	400	352	411	14,5
2500	113	430	205	310	370	324	369	12,3
3000	144	395	263	308	350	304	343	11,6
3500	180	367	335	294	340	291	334	12,7
4000	222	345	420	286	335	287	341	15,8

Проведена оценка возможных погрешностей измерений и показана их достаточная точность для решения поставленных задач, с учётом ограничительных факторов на применение метода регулирования двигателя отключением цилиндров.

В четвёртой главе приведены результаты расчётно - экспериментальных исследований возможностей снижения расхода топлива и уменьшения токсичности выбросов двигателей с искровым зажиганием. Показано, что при работе на малых нагрузках в диапазоне частот вращения 800 – 4800 мин⁻¹ двигателя Audi V6, отключением трёх цилиндров достигается снижение текущего расхода топлива на 17 – 23 %. А при изменении числа отключаемых цилиндров от двух до четырёх, в зависимости от уровня малой нагрузки, достигается повышение экономичности этих режимов на 20 – 27 %.

При реализации разработанной методики получаем, что если при $n=3600$ мин⁻¹ полноразмерный двигатель имеет удельный расход топлива

гон с частым переключением передач вплоть до 4-й вблизи 1500 мин^{-1} позволяет работать в области повышенной экономичности, но с потерей динамических качеств, т.е. с повышенным временем разгона, а следовательно, возможно, и повышенным часовым расходом. Разгон на 1-2 передачах вблизи 3500 мин^{-1} приводит к повышению динамических качеств установки, снижению времени разгона, но и к потере удельной экономичности.



Алгоритм регулирования

Рис. 2. Зависимости средних часовых расходов топлива ($G_{\text{ср.}}$) и снижения расхода ($\Delta G_{\text{ср.}}$) от алгоритма регулирования двигателя (Audi V6) изменением числа активных цилиндров.

Метод отключения цилиндров исследован также с использованием опубликованных универсальных характеристик двигателя BMW с заданной характеристикой нагрузки во всём диапазоне частот вращения вала двигателя. Расчёты показали, что в разных диапазонах частот следует деактивировать разное число цилиндров, т.к. частота вращения однозначно связана с заданной нагрузкой. Так, при частотах 1000 – 2500 работой на двух цилиндрах возможно повышение экономичности на 30 – 50 %. Далее с ростом частоты до 4500 - 5000 мин^{-1} следует увеличивать число активных цилиндров, что необходимо из-за возросшей нагрузки и сопровождается снижением выигрыша в экономичности до 5 %. Выше 5000 мин^{-1} следует работать на всех восьми цилиндрах. Т.е. рекомендован алгоритм регулирования 1,5-2-3-4-5-6-7-8. Здесь 1,5 – реализация режима минимальной нагрузки путём чередования работы на одном и на двух цилиндрах (реализация установившегося режима путём разгонов – выбегов соответственно на двух – одном цилиндрах).

При реализации всех заданных режимов с равной вероятностью каждого из них достигается экономия среднего часового расхода топлива в количестве 13,5 % от среднего расхода, получаемого при реализации тех же режимов полноразмерным двигателем (Рис. 3.).

Оценка экономического и экологического эффектов от применения метода отключения цилиндров исследована также с использованием опубликованных универсальных характеристик двигателя *UPS 292 SC* (много-топливный, с непосредственным впрыскиванием и расслоением заряда, $N_{e,ном} = 71$ кВт при 3200 мин^{-1} , $p_{e,ном} = 0,8$ МПа, $S/D = 10,46/9,84$, $\varepsilon = 13$).

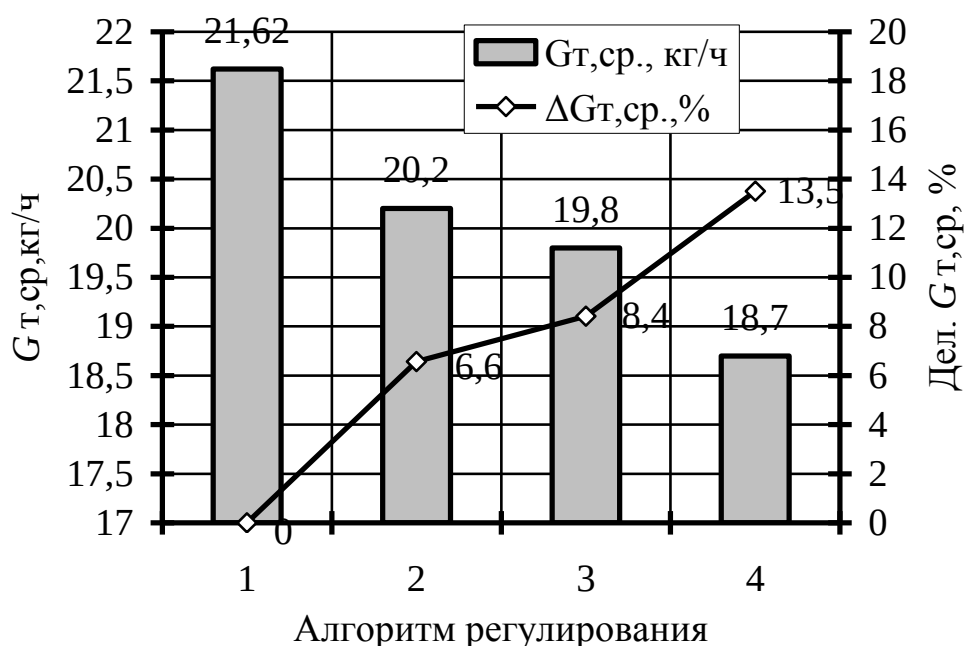


Рис. 3. Зависимость среднего часового расхода топлива ($G_{т,ср.}$) от алгоритма регулирования двигателя *BMW*, а также выигрышей в средних часовых расходах ($\Delta G_{т,ср.} = \text{Дел. } G_{т,ср.}$), полученных при сравнении расходов при реализации алгоритмов 2-3-4 по сравнению с 1; алгоритмы регулирования: 1- работа полноразмерного двигателя, 8ц.; 2 – алгоритм 2ц.-8ц.; 3 – алгоритм 4ц.-8ц.; 4 – алгоритм 1,5ц.-2ц.-3ц.-4ц.-5ц.-6ц.-8ц.

Заданный закон нагрузки в диапазоне наиболее часто применяемых частот вращения (800 – 2400) может быть реализован работой от двух и выше активных цилиндров. Проанализированы возможности экономии топлива (Рис. 4.), а также снижения токсичности выбросов при применении наиболее распространённого метода отключения трёх цилиндров (т.е. алгоритм 3-6) и предлагаемого метода регулирования отключением разного числа цилиндров, зависящего от величины текущей нагрузки (т.е. алгоритм 2-3-4-5-6). Показано, что при алгоритме 3-6 достигается повышение экономичности на примерно 22 % в диапазоне частот вращения 800 – 2000 мин^{-1} . При реализации алгоритма 2-3-4-6 экономия в тех же условиях на-

грузки возрастает до 30 %. Анализом суммарного и среднего часового расходов топлива за время работы двигателя в тех же условиях показано, что при реализации алгоритма регулирования 3-6 достигается экономия в 16,5 %. А при реализации алгоритма 2-3-4-6 – 20,2 %.

Расчётным анализом на основе универсальных характеристик изменения удельных выбросов g_{NOx} (Рис. 5.) и g_{CO} при реализации режимов нагрузки двигателя, соответствующих установившимся движениям автомобиля на четвёртой передаче в диапазоне частот вращения вала двигателя 800 – 2400 мин⁻¹, показано следующее. Отключение цилиндров при любых

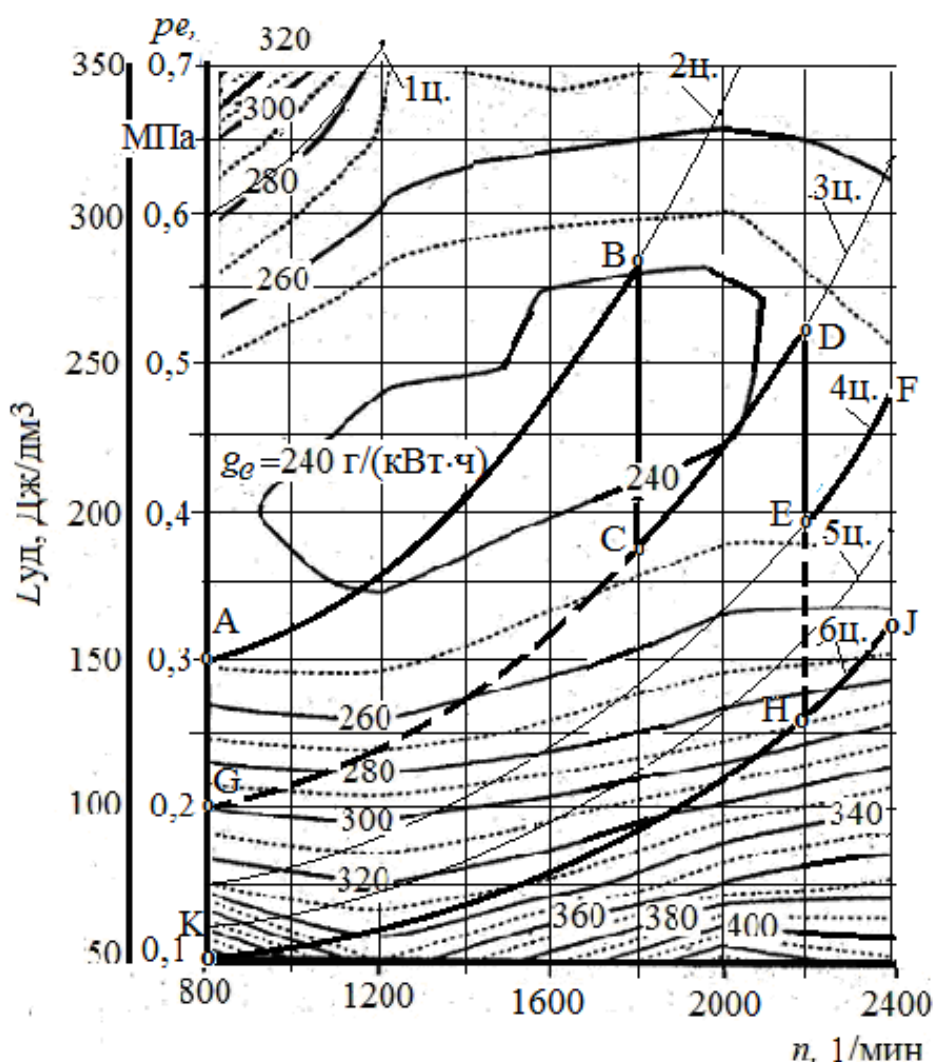


Рис. 4. Универсальные характеристики двигателя UPS 292 PS по показателям удельного эффективного расхода топлива, снабжённые ординатой удельной работы двигателя; алгоритмы регулирования двигателя: 2-3-4 – А-В-С-Д-Е-Ф, 3-4 – G-С-Д-Е-Ф, 3-6 – G-С-Д-Е-Н-Ж, 6 – К-Н-Ж.

алгоритмах регулирования приводит к росту концентраций NO_x в ОГ активных цилиндров. Изменение концентраций CO в тех же условиях неод-

нозначно. Часовые выбросы NO_x и более существенно CO при разных алгоритмах отключения цилиндров снижаются, благодаря разжижению ОГ активных цилиндров воздухом деактивированных цилиндров. При равновероятной реализации заданных режимов нагрузки средние часовые выбросы NO_x снижаются на 5,2 % при реализации алгоритма регулирования 3-6 и на 6,3 % - при реализации алгоритма 2-3-4-6. В тех же условиях средние часовые выбросы CO снижаются на 41 % при реализации алгоритма регулирования 3-6 и на 57,3 % - при реализации алгоритма 2-3-4-6 (Рис. 6.).

По результатам работы сформулированы возможные направления дальнейшего развития методов регулирования двигателей изменением их рабочих объёмов.

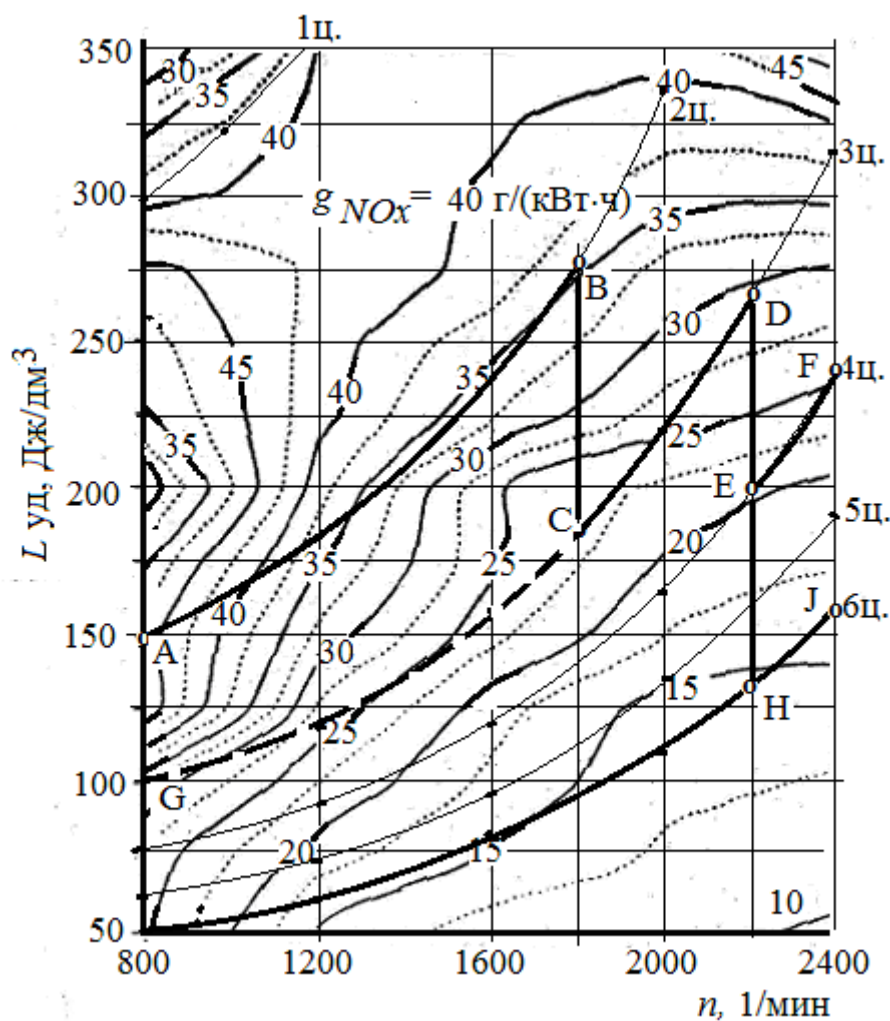


Рис. 5. Универсальная характеристика двигателя UPS 292 PS по показателям удельных выбросов оксидов азота, перестроенная в ординаты удельной работы двигателя; алгоритмы регулирования двигателя: 2-3-4 – А-В-С-Д-Е-Ф, 3-4 – Г-С-Д-Е-Ф, 3-6 – Г-С-Д-Е-Н-Ж, 6 – К-Н-Ж.

К ним, по мнению автора, можно отнести исследования по формированию регуляторных характеристик двигателя с отключением цилиндров или циклов, по реализации режимов малых нагрузок и холостых ходов путём проведения чередующихся режимов разгонов - выбегов, а также разработке комплексных методов снижения токсичности выбросов ДВС путём сочетания отключения цилиндров с каталитической и прочей нейтрализацией ОГ.



Рис. 6. Влияние алгоритма регулирования двигателя *UPS 292 SC* отключением цилиндров на суммарные за всё время испытаний (9 часов) выбросы оксидов углерода (G_{CO}), на средние за испытание на заданных режимах часовые выбросы оксидов углерода ($G_{CO,ср.}$) и на относительное изменение выбросов CO ($Дел. G_{CO}$, %).

Общие выводы.

1. Выполнены адаптация к условиям исследования и усовершенствование метода расчётно-экспериментальной оценки возможностей повышения экономичности и снижения токсичности выбросов двигателя с искровым зажиганием. Метод основан на аналитическом анализе экспериментально полученных и опубликованных в печати универсальных характеристик двигателей по показателям топливной экономичности и токсичности выбросов, перестроенных в ординаты удельных работ двигателей, регулируемых изменением рабочих объёмов. Все исследования проведены при допущении, что на двигателях соответствующими конструктивными решениями устранены проблемы недопустимых вибраций и крутильных колебаний двигателя и транспортного средства. В противном случае ожидаемые результаты должны быть скорректированы с учётом возможных ограничений на применение рекомендуемых методов, как это показано в диссертации.

2. Расчётно-экспериментальными методами, т.е. путём численного эксперимента, была подтверждена эффективность метода отключения цилиндров или циклов на двигателях с искровым зажиганием. Такой метод позволяет сократить расход топлива двигателем с искровым зажиганием на малых и средних нагрузках, снизить выбросы оксидов азота и оксидов углерода.

3. Исследованы различные алгоритмы последовательностей и количеств отключаемых цилиндров. В качестве наиболее эффективного рекомендован метод регулирования двигателя изменением числа отключаемых цилиндров или циклов в зависимости от величины текущей нагрузки двигателя. Такой метод даёт экономический эффект, на 7 - 18 и более процентов превышающий эффект, достижимый при использовании отключения половины цилиндров. Более высокий эффект получен для двигателя с большим числом цилиндров.

4. Расчётным исследованием предложенного метода регулирования показано, что при работе автомобиля в широком диапазоне изменения частот вращения на постоянной четвёртой передаче может достигаться снижение среднего часового расхода топлива на 11 – 14 % при равновероятности реализуемых режимов.

5. Расчётно-экспериментальным исследованием показано, что при использовании предложенного метода регулирования можно ожидать снижения суммарных выбросов оксидов азота на 6,3 %, в то время, как при отключении половины цилиндров – только 5,2 %. В тех же режимных условиях можно ожидать снижения массовых выбросов оксидов углерода соответственно на 57,3 % и на 41 %.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах.

1. Amelioration du rendement des moteurs a combustion interne par des variations du tautaux de compression et des modifications des caractéristique d'alimentation en comdustible./ E.A. Savastenko, N.N. Patrakhal'tsev, J.V.Chilina. // Материалы междунар. молодёж. науч. конф. по естественным и техническим дисциплинами «Научному прогрессу - творчество молодых». Йошкар – Ола. МарГТУ. 2011. С. 55-58 (0,25 п.л. /0,2 п.л.).

Соискателю принадлежит сбор информации, участие в её систематизации и изложение основных тезисов доклада.

2. Отключение цилиндров бензиновых двигателей. / Савастенко Э.А., Савастенко А.А., Патрахальцев Н.Н. // Материалы международной конференции «Инженерные системы - 2013». М.: РУДН. 2013. С. 11-12 (0,06 п.л. /0,05 п.л.).

Соискателю принадлежит систематизация разных видов отключения цилиндров.

3. Возможности повышения экономичности дизеля ЯМЗ-238 изменением его рабочего объёма. / Ю.С. Вишнякова, Э.А. Савастенко, Р.О. Ка-

мышников, науч. рук. Н.Н. Патрахальцев. // Тез. докл. Междунар. науч. практич. конф. молодых учёных, аспирантов и соискателей «Знания молодых: наука, практика и инновации». Киров. 2013. С. 12-13 (0,06 п.л. /0,05 п.л.).

Соискателю принадлежит участие в проведении расчётов.

4. Снижение дымности отработавших газов дизеля путём добавки альтернативных топлив к основному. / Н.Н. Патрахальцев, Э.А. Савастенко, Д.С. Скрипник и др. // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. №1 (37). С 9-14 (0,31 п.л. /0,25 п.л.).

Соискателю принадлежит участие в обработке результатов исследования.

5. Возможности экономии нефтяного дизельного топлива частичным замещением его альтернативным. / Н.Н. Патрахальцев, Р.О. Камышников, Э.А. Савастенко и др. // Вестник РУДН. Серия: «Инженерные исследования». 2014. № 4. С. 72-77 (0,31 п.л. /0,25 п.л.).

Соискателю принадлежит участие в разработке методики оценки возможной экономии топлива.

6. Возможности снижения путевого расхода топлива двигателем транспортного средства длительное время работающих на режимах малых нагрузок. / Н.Н. Патрахальцев, Э.А. Савастенко, Т.С. Аношина и др. // Тез. докл. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, сер. Машиностроение. 2014. № 5. С. 131 (0,06 п.л. /0,04 п.л.).

Соискателю принадлежит участие в подготовке текста тезисов доклада, иллюстраций и презентации.

7. Снижение токсичности газо-дизеля, регулируемого изменением рабочего объёма. / Н.Н. Патрахальцев, Т.С. Аношина, Э.А. Савастенко и др. // АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. 2014. № 4 (85). С. 3-7 (0,25 п.л. /0,18 п.л.).

Соискателю принадлежит участие в разработке методики расчётно – экспериментальной оценки токсичности выбросов.

8. Оценка возможностей повышения экономичности автомобилей с двигателем, регулируемым отключением цилиндров. / Н.Н. Патрахальцев, И.А. Петруня, Э.А. Савастенко и др. // Материалы VII междунар. науч.-практич. конф. «Наука – Технология - Ресурсосбережение». Киров. 2014. С. 13-14 (0,06 п.л. /0,05 п.л.).

Соискателю принадлежит подготовка презентации.

9. Отключение цилиндров как способ улучшения экономичности бензиновых двигателей. / Девянин С. Н., Савастенко Э. А., Марков В. А. и др. // Автомобильная промышленность. 2014. №1. С. 5-8 (0,25 п.л. /0,2 п.л.).

Соискателю принадлежит сбор исходной информации, проведение расчётов и их анализ.

10. Возможности повышения экономичности режимов малых нагрузок двигателя ВАЗ-2118. / Н.Н. Патрахальцев, Р.О. Камышников, Э.А. Са-

вастенко и др. // Автомобильная промышленность. 2014. № 4. С. 9-10 (0,125 п.л. /0,9 п.л.).

Соискателю принадлежит сбор исходной информации, участие в подготовке методики, проведение расчётов и их анализ.

11. Оценка возможности повышения экономичности автомобиля регулированием рабочего объёма двигателя. / Н.Н. Патрахальцев, Р.О. Камышников, Э.А. Савастенко и др. // Автомобильная промышленность. 2014. № 6. С. 10-12 (0,19 п.л. /0,15 п.л.).

Соискателю принадлежит разработка методики, проведение расчётов и участие в подготовке статьи.

12. Возможности повышения экономичности режимов малых нагрузок бензинового двигателя методом отключения цилиндров./Патрахальцев Н.Н., Савастенко Э.А., Скрипник Д.С. // Тез. докл. Всерос. научно – технич. конф. по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015 г. С. 112 (0,06 п.л. /0,04 п.л.).

13. Снижение путевого расхода топлива автомобилем./ Патрахальцев Н.Н., Камышников Р.О., Савастенко Э.А. // Труды VIII междунар. научно-практич. конф. «Инженерные системы – 2015». М.:РУДН. 2015. С. 571-574 (0,19 п.л. /0,12 п.л.).

14. Савастенко Э.А. Возможности повышения эксплуатационной топливной экономичности бензинового двигателя. Вестник РУДН. Серия: «Инженерные исследования». 2015. № 4. С. 161-164 (0,19 п.л.).

15. Савастенко Э. А. Повышение топливной экономичности двигателя с искровым зажиганием изменением его рабочего объёма. Известия Волгоградского государственного технического университета. ВолгГТУ. Волгоград. 2015. Вып. 11. Стр. 55-57 (0,2 п.л.).

16. Савастенко Э.А. Методика расчёта характеристик бензинового двигателя с отключаемыми цилиндрами. Методические указания к проведению практической работы по курсу «Теория рабочих процессов ДВС: Характеристики ДВС». М. РУДН. 2015. 6 с. (0,38 п.л.).

Подписано в печатьФормат 60x84/16
Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,25. Тираж 100 экз. Заказ 1560.

Российский университет дружбы народов
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3.

Типография РУДН
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. 952-04-41