

Литература

1. Подрубалов В.К. Обобщенная математическая модель вибронагруженности мобильной машины при случайном кинематическом возбуждении. / В.К. Подрубалов, А.Н. Никитенко, М.В. Подрубалов // Известия МГМУ (МАМИ). – 2013. - № 2(16). – с. 203 - 211.
2. Подрубалов В.К. Оптимизация системы виброзащиты оператора мобильной машины при случайном кинематическом возбуждении. / В.К. Подрубалов, А.Н. Никитенко, М.В. Подрубалов // Известия МГМУ (МАМИ). – 2013. - № 2(16). – с. 212 - 220.
3. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента/ - М.: Мир. – 1972. – 381с.
4. Подрубалов В.К. Методы получения и спектральный анализ вибрационных характеристик искусственных треков. / В.К. Подрубалов, М.В. Подрубалов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012. № 2(14). Том 1. с. 303-310.

Проблемы развития систем с непосредственным впрыскиванием бензина для двигателей российского автотранспорта

д.т.н. проф. Фомин В.М., Шустров Ф.А.
Университет машиностроения
(495) 223-05-23, доб. 1048, avt@mami.ru

Аннотация. Анализируются проблемы, связанные с разработкой инновационных решений по созданию нового поколения высокоэффективных двигателей с непосредственным впрыскиванием бензина для отечественного транспортного комплекса. Несмотря на то что данный тип двигателей имеет очень высокий потенциал улучшения топливной экономичности, относительно дорогая и сложная система нейтрализации ОГ и ее чувствительность к качеству топлива, особенно к содержанию в нем серы, препятствует широкому применению таких систем в сфере российской автомобильной технологии.

Ключевые слова: внутреннее смесеобразование, непосредственный впрыск бензина, расслоенный заряд, послойное смесеобразование, топливная экономичность, экологические показатели, нейтрализатор, регенерация.

Под влиянием угрозы истощения нефтяных ресурсов и постоянно ужесточающихся экологических требований к автомобильным двигателям ведущие фирмы при создании новых моделей в качестве главных приоритетов принимают их показатели топливной экономичности и токсичности. С учетом этого на рубеже веков начался новый виток развития систем впрыскивания топлива, основанный на применении принципиально новых электронных систем непосредственного впрыскивания бензина (НВБ). Их использование на современных моделях автомобильных двигателей в настоящее время составляет около 7% среди всех систем топливоподачи.

Преимущество стратегии НВБ состоит в том, что она создает ряд важных предпосылок для организации более эффективного рабочего процесса ДВС благодаря возможности гибкого контроля способа смесеобразования, рационального выбора состава смеси и момента впрыскивания (таблица 1).

Раннее впрыскивание (на такте впуска) позволяет сформировать гомогенную смесь стехиометрического (слабо обогащенного на режимах ускорения) состава и обеспечить преимущества, характерные для данного способа смесеобразования: охлаждение заряда в цилиндре вследствие испарения впрыскиваемого топлива, повышение наполнения, уменьшенную склонность к детонации и, главное, предельно возможное достижение энергетических показателей двигателя.

Раннее впрыскивание (на такте впуска), при котором в цилиндре формируется слабо обедненная смесь, обуславливает улучшение сгорания при переходе с гомогенной на гетерогенную расслоенную смесь и наоборот. При этом устраняются рывки и провалы крутящего момента двигателя на переходных режимах, и, как следствие, обеспечивается улучшение ез-

Способы организации смесеобразования в двигателе с НВБ

Состояние смеси (способ впрыска)	Метод	Цель	Результат
Гомогенная, стехиометрическая (ранний впрыск)	Охлаждение заряда	Увеличение наполнения Повышение степени сжатия	Повышение энергетических показателей Снижение расхода топлива
	Быстрое испарение топлива	Повышение скорости и полноты сгорания, снижение его продолжительности	Снижение выбросов СО и СН Снижение расхода топлива
	Устранение пленки топлива на стенках впускного тракта	Точный контроль состава смеси на переходных режимах	Снижение вредных выбросов (ВВ) Снижение расхода топлива
Гомогенная, слабо обедненная (ранний впрыск)	Оптимальное регулирование рециркуляцией ОГ (РОГ)	Повышение степени РОГ	Снижение эмиссии NO _x
	Улучшение сгорания при переходе с гомогенной на гетерогенную расслоенную смесь и наоборот	Устранение рывков и провалов на переходных режимах	Улучшение ездовых качеств автомобиля Снижение ВВ
Расслоенная, гетерогенная (поздний впрыск)	Обеднение смеси до $\alpha = 2,5 \dots 4$	Повышение индикаторного КПД Снижение скорости образования ВВ	Снижение расхода топлива Снижение ВВ
	Применение качественного регулирования	Повышение индикаторного КПД	Снижение расхода топлива
	Уменьшение дросселирования на впуске	Снижение потерь на газообмен	Снижение расхода топлива
	Повышение степени сжатия на 1,5...2 ед.	Повышение индикаторного КПД	Снижение расхода топлива
	Расслоение РОГ	Повышение степени РОГ	Снижение эмиссии NO _x
Слабо расслоенная (двойной впрыск)	Обогащение смеси до $\alpha = 0,9$	Повышение скорости сгорания	Получение максимально возможной мощности
	Ускорение прогрева нейтрализатора	Улучшение стартовых характеристик системы нейтрализации	Снижение эмиссии СО и СН на режиме прогрева двигателя

Позднее впрыскивание (на такте сжатия) обуславливает возможность формировать неоднородный (расслоенный) состав смеси. При сгорании существенно расслоенной смеси создаются предпосылки для уменьшения расхода топлива и ВВ благодаря высокому уровню обеднения смеси, организации качественного регулирования режимами работы двигателя и повышении степени сжатия. Понятно, что в данном случае при $\alpha \gg 1$ энергетические показатели двигателя снижаются.

Двухстадийное впрыскивание топлива. Незначительное расслоение обедненной смеси, которое достигается последовательным впрыскиванием двух доз топлива на такте впуска и сжатия, обеспечивает ряд дополнительных преимуществ, таких как ускоренное прогревание нейтрализатора, снижение скорости нарастания давления в цилиндрах двигателя и газовых нагрузок на детали кривошипно-шатунного механизма. Двухстадийное впрыскивание топлива в ряде случаев используют для предотвращения детонационного сгорания обогащенных смесей при максимальной нагрузке ДВС и пониженных скоростных режимах.

В условиях эксплуатации двигатель с НВБ, как и любой транспортный ДВС, работает в широком диапазоне изменения скоростных и нагрузочных режимов. В отличие от бензинового двигателя с внешним смесеобразованием, постоянно работающего на неизменном составе смеси ($\alpha \sim 1$), в ДВС с НВБ предусмотрены области характерных режимов (рисунок 1), которые могут быть реализованы только при соответствующем изменении способа организации процесса смесеобразования (таблица 1).

Работа на расслоенных сверхобедненных ($\alpha \gg 1$) смесях. На этих смесях двигатель работает на режимах частичных нагрузок (характерные режимы городской езды), обеспечивая высокую экономию топлива. Бензин впрыскивается в цилиндр в конце процесса сжатия. Расслоение заряда обеспечивает устойчивую работу двигателя при $\alpha = 2,5$ и более.

Работа на гомогенных стехиометрических смесях. Режимы работы ДВС на этих смесях используются для преодоления автомобилем повышенных и высоких сопротивлений движению (рисунок 1): при интенсивном разгоне, высокоскоростном загородном движении и обгонах. Ясно, что при $\alpha = 1$ проблема воспламенения смеси не возникает и нет необходимости в расслоении заряда, а традиционный бифункциональный нейтрализатор работает с максимальной эффективностью.

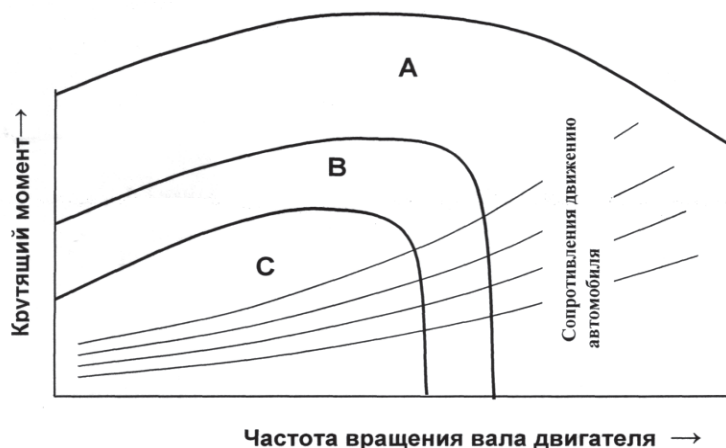


Рисунок 1. Характерные эксплуатационные режимы работы автомобильного двигателя с непосредственным впрыскиванием бензина: А – область работы на режимах с организованным гомогенным смесеобразованием при $\alpha = 1$ (скоростная, загородная езда); В - область работы на режимах с организованным гомогенным смесеобразованием при $\alpha \geq 1$ с регулируемой рециркуляцией ОГ (область переходных режимов); С - область работы на режимах с организованным расслоением гетерогенной смеси при $\alpha \gg 1$ (городская езда)

Работа с малой частотой вращения коленчатого вала и большими нагрузками. В ряде конструкций двигателей с НВБ (например двигатель Mitsubishi Motors 4G93) для реализации такого режима в целях повышения крутящего момента увеличивается подача топлива. При работе двигателя с малой частотой вращения с обогащенной смесью ($\alpha = 0,9$) для предотвращения детонации впрыскивание бензина в цилиндр осуществляется в два этапа: сначала предварительное впрыскивание на такте впуска, затем в конце процесса сжатия – основная доля цикловой подачи. В результате такого двухстадийного впрыскивания обеспечиваются высокие скорости сгорания и энергетические показатели цикла (таблица 1), хотя и с потерей экономичности.

Иногда режим двухстадийного впрыскивания используют для реализации эффективно-

го холодного пуска ДВС и ускоренного стартового прогрева системы нейтрализации (таблица 1).

При работе двигателя с НВБ на режимах с качественным регулированием мощности и расслоением заряда количество воздуха, поступившего в цилиндр, как и в дизеле, остается практически постоянным, а мощность регулируется изменением цикловой подачи топлива, то есть в таких двигателях $\alpha = \text{var}$ и $\eta_v \approx \text{const}$. Очевидно, что при $\alpha > 1$ возрастает экономичность цикла, но уменьшаются теплота сгорания смеси, индикаторная работа и мощность двигателя в целом. Поэтому в системе топливоподачи двигателя с внутренним смесеобразованием предусмотрена возможность перевода ДВС на режимы гомогенного смесеобразования с $\alpha = 1$ для сохранения необходимой литровой мощности. На этих режимах работы ДВС с НВБ его показатели по топливной экономичности снижаются и практически мало отличаются от аналогичных показателей двигателя с внешним смесеобразованием.

Однако и на этих режимах проявляется ряд отличительных особенностей в механизме смесеобразования в ДВС с НВБ. В этих двигателях форсунка расположена в цилиндре, и для гомогенизации топливовоздушной смеси в режиме полной нагрузки ($\alpha \approx 1$) впрыскивание осуществляется при впуске. При этом теплота, необходимая для испарения топлива и образования горючей смеси, отбирается от воздуха, находившегося в цилиндре, воздух охлаждается, и его плотность растет, что приводит к увеличению коэффициента наполнения. Вследствие снижения температуры в конце процесса сжатия снижается максимальная температура цикла, что обуславливает возможность увеличения степени сжатия, повышения термического КПД цикла ДВС и снижение скорости окисления азота.

При впрыскивании топлива в КС в конце процесса сжатия (режимы частичных нагрузок) продолжительность процесса смесеобразования возрастает, что вызывает необходимость в организации расслоения заряда таким образом, чтобы в области свечи зажигания к моменту подачи искры образовывалась топливовоздушная смесь, способная к эффективному воспламенению ($\alpha = 0,9 \dots 1$). При этом вне этой области может быть сосредоточена обедненная смесь, что обеспечивает работу двигателя с суммарным значением $\alpha \approx 2 \dots 3$ и более. Пристеночные зоны КС, содержащие смесь с большим избытком воздуха (или просто воздухом), играют роль теплоизолятора [1]. В результате уменьшаются потери теплоты в цикле, что также благоприятно влияет на КПД двигателя.

Рассмотренные выше преимущества приводят к тому, что двигатели с НВБ имеют больший потенциал для уменьшения расхода топлива, чем двигатели с внешним смесеобразованием, позволяющий в перспективе выйти на уровень топливной экономичности современных дизелей [2]. С учетом этого в будущем можно ожидать дальнейшего роста применения систем НВБ.

Однако необходимо отметить, что ожидавшегося широкого распространения этих систем пока не происходит [1, 2]. Причина заключается в высокой сложности и стоимости систем НВБ, несоответствии между прогнозируемыми и реальными показателями двигателей с этими системами, необходимости применения дорогостоящих нейтрализаторов сорбционного типа с DeNOx катализатором, для надежной работы которых требуется топливо с содержанием серы менее 10 млн^{-1} . Заметим, что с учетом современного технологического состояния российской нефтеперерабатывающей отрасли обеспечить подобное требование проблематично.

Производимые за рубежом серийные двигатели с НВБ для современных автомобилей относятся к первому поколению. Опыт их эксплуатации позволяет сделать вывод, что теоретически ожидаемая экономия топлива во время езды достигается не полностью. Существуют проблемы, решение которых по всем прогнозам связывают с выпуском следующего (второго) поколения двигателей с НВБ. При разработке второго поколения двигателей с НВБ предусматривается применение наддува и увеличение степени сжатия, что позволит повысить эффективные показатели.

В будущем серьезную проблему может создать «конфликт» между целями гомогенизации смеси и расслоения заряда [1]. Дело в том, что отказ от расслоения заряда неизбежно

связан с увеличением расхода топлива, а стремление к расслоению *гетерогенного* заряда приводит к повышению шума и образованию сажи, как это происходит в дизелях. Правда, выбросы сажи у двигателей с НВБ пока не превышают допустимые нормы, но в будущем не исключено, что такие двигатели окажутся в положении современных дизелей. С учетом этого прогнозируется использовать впрыскивание бензина с управляемым законом топливоподачи.

Современные двигатели с НВБ реально имеют относительно небольшой коэффициент избытка воздуха по сравнению с дизелями, что снижает их топливную экономичность. Решение этой проблемы может расширить перспективы развития двигателей с НВБ.

Очевидно, только в случае удачного решения всех рассмотренных выше проблем можно предположить, что современные двигатели с НВБ первого поколения в будущем могут быть вытеснены с рынка более экономичными и экологически совершенными двигателями второго поколения. Основным конкурентом двигателю с НВБ второго поколения на автомобильном транспорте в перспективе является дизель. При этом перспективы двигателей с НВБ с учетом рассмотренных выше их преимуществ представляются более предпочтительными [1, 2].

Проблемы на пути создания отечественного двигателя с НВБ

В целях ликвидации сложившегося отставания в данной области отечественного двигателестроения и повышения конкурентоспособности ряд российских научных центров и производителей, несмотря на скудное финансирование, проводят работы по созданию ДВС с НВБ. Наряду с финансовыми проблемами, перспективы производства и внедрения этих двигателей на отечественном автомобильном транспорте связаны также с решением целого ряда серьезных технических и технологических проблем.

Для ДВС с НВБ наиболее проблемными являются режимы с использованием расслоенного заряда. Перевод такого двигателя на послойное смесеобразование осуществляется, когда он работает в области малых и средних нагрузок ($p_e < 4$ бар) в диапазоне частот вращения $n = 1000 \dots 3000 \text{ мин}^{-1}$ (рисунок 1), что соответствует наиболее характерным режимам работы ДВС при эксплуатации автомобиля в условиях городской езды. Рассмотрим эту проблему подробнее, поэтапно.

1. Работа двигателя с НВБ на режимах частичных нагрузок с послойной организацией заряда ($\alpha \gg 1$) сопровождается выбросом в атмосферу оксидов азота вследствие потери восстановительной способности (очистки ОГ от NO_x) традиционного бифункционального нейтрализатора. Для снижения выбросов NO_x серийных зарубежных ДВС с НВБ до уровня нормативных требований их изготовители вынуждены использовать дополнительную систему «вторичной» очистки накопительного типа, содержащую сорбционный аппарат (названный как DeNOx - нейтрализатор) и сложную схему управления. Этот нейтрализатор требует часто повторяющейся (в условиях городской езды - примерно через каждые 60...70 с) регенерации, то есть удаления накопленных в нем соединений NO_x и серы при рабочей температуре свыше 650°C . Проблема усугубляется низким качеством отечественного бензина, в частности повышенным содержанием в нем серы, что проявляется в снижении эффективности DeNOx-нейтрализатора, активной сульфатизации каталитического блока и его дезактивации, в необходимости в более частом проведении процесса регенерации. Кроме того, при многократном повторении эффект полной десульфатизации катализатора уже не достигается [2].
2. Проведение постоянно чередующегося высокотемпературного процесса регенерации нейтрализатора сорбционного типа обуславливает необходимость резкого повышения температуры выпускных газов за счет кратковременного перевода двигателя на энергетически убыточный режим работы (угол зажигания $\sim 10^\circ$ после ВМТ, $\alpha < 1$), что негативно отражается на ресурсных и топливно-экономических характеристиках двигателя, а также на процессе «старения» (потере эффективности) каталитического блока. В условиях городской езды суммарное время регенерации может составлять существенную часть времени ездового цикла.

3. В период проведения регенерации происходит «проскок» оксидов азота через систему очистки и их выброс в окружающую среду. Общий выброс NO_x на часто повторяющихся режимах регенерации может составить значительную часть общего выброса за период эксплуатации. С учетом этого реальная (эксплуатационная) эффективность штатной накопительной системы оказывается ниже заявленной. В российских условиях эксплуатации данная проблема системы НВБ с DeNO $_x$ -нейтрализатором еще более усугубляется, в пределе приводящая к полной потере его эффективности и даже поломке. Можно предположить, что в этой ситуации проявляется пониженное качество отечественного бензина, но в любом случае для российских разработчиков перспективных ДВС с НВБ эта проблема потребует поиска адекватного решения.
4. Применение расслоения заряда и гетерогенной смеси в бензиновых двигателях сопровождается повышением скорости нарастания давления (что свойственно дизельному процессу). Жесткая работа двигателя приводит к повышению динамических нагрузок на детали КШМ и шума, что создает проблемы надежности и комфорта.
5. Эмиссия твердых частиц до настоящего времени нормируется только в дизелях. Однако внедрение двигателей с впрыскиванием бензина в цилиндры может изменить ситуацию [1]. Практически нулевая эмиссия сажи, характерная для двигателей с внешним смесеобразованием и с гомогенной смесью, в двигателях с НВБ (особенно при работе с расслоением заряда) недостижима, так как в цилиндре образуется неоднородная гетерогенная смесь с сильно обогащенными топливом локальными зонами. Современные двигатели с НВБ имеют в выпускных газах малые по нынешним понятиям концентрации дисперсных частиц, удовлетворяя даже жестким требованиям калифорнийского стандарта LEV. В будущем по мере перехода к автомобилям со сверхнизкими выбросами токсичных веществ будут введены более строгие ограничения по эмиссии дисперсных частиц, что может вызвать серьезную проблему для ДВС с НВБ.
6. Современные зарубежные автомобили с двигателями с НВБ имеют относительно высокую стоимость, в том числе вследствие оснащения их комбинированными системами нейтрализации. Нейтрализаторы накопительного типа значительно дороже традиционных трехкомпонентных нейтрализаторов и требуют более частой замены. При отсутствии собственного производства этих нейтрализаторов с учетом их высокой стоимости и низкой надежности применение подобных систем на отечественном автомобильном транспорте малоперспективно. Поэтому поиск приемлемых альтернативных вариантов (взамен существующей комплексной системы очистки с DeNO $_x$ – нейтрализатором) для разрабатываемых в нашей стране двигателей с НВБ является актуальной необходимостью.
7. Очевидно, что реальное внедрение любого альтернативного средства очистки ОГ взамен существующей сорбционной системы может быть оправданным при условии, если его эффективность по снижению эмиссии NO_x эквивалентна эффективности заменяемой системы. Понятно, что выполнение данного условия сопряжено с необходимостью решения сложной научно-технической задачи с учетом реального состояния и возможностей российской двигателестроительной отрасли.
8. Устойчивая работа двигателя с НВБ на режимах с послойной организацией заряда возможна в ограниченной области изменения его энергетических и скоростных параметров (рисунок 1). Это связано с тем, что с повышением нагрузки и частоты вращения ДВС располагаемое время на осуществление процесса смесеобразования сокращается, цикловая продолжительность этого процесса в условиях гетерогенного заряда увеличивается, и в предельном случае часть смеси может оказаться не подготовленной к сгоранию. Само сгорание становится прерывистым, режим – неустойчивым, что экспериментально регистрировалось разработчиками [2] в процессе доводки двигателя при выявлении области его устойчивой работы для отработки программы управления. Опыт эксплуатации ДВС с НВБ показывает, что даже в условиях городской езды возникает необходимость кратковременного перевода работы ДВС с режима послойного на режим гомогенного смесеобразования (например режимы ускорения автомобиля), что сопровождается потерей топ-

ливной экономичности. Кроме того, с учетом ограниченного быстродействия подвижных (механических) элементов системы управления переходными процессами двигателя (например дроссельная заслонка, вихревая заслонка впускного канала, силовые механизмы управления этими заслонками) проявляется ощутимая неустойчивость в движении автомобиля. Понятно, что при удачном решении проблемы по расширению эксплуатационной области устойчивой работы двигателя с послойным зарядом, необходимость в частом переводе его на менее экономичную работу с гомогенным зарядом в условиях городской езды будет снижена. Актуальность решения данной задачи еще более расширяет обозначенный выше перечень проблемных вопросов, присущих системам НВБ на режимах с послойным зарядом.

Их решение обуславливают необходимость углубленного поиска эффективных инновационных идей с учетом экономической целесообразности их внедрения. При этом следует отметить неприемлемость для отечественной практики прямого копирования зарубежных решений не только из-за высоких финансовых затрат для их реализации, но и с учетом отсутствия технологии и необходимых производственных материалов, качества российского бензина и др.

В последнее время на кафедре «Автомобильные и тракторные двигатели» Университета машиностроения проведены исследования, по результатам которых предложен метод модификации процесса сгорания расслоенных смесей в ДВС с НВБ, имеющий целевую направленность на минимизацию эмиссии NO_x . С этой целью предполагается использование синтезированного продукта с повышенным содержанием водорода в качестве активирующего химического реагента. Метод основан на известной способности добавок водородосодержащих продуктов к окислению (сгоранию) в условиях существенно обедненной смеси благодаря тому, что энергия, необходимая для начала реакции окисления водорода, примерно в 10 раз ниже той, которая необходима для углеводородного топлива. Реакционное влияние водорода столь велико, что даже при небольших (менее 1%) его добавках к рабочей смеси представляется возможным реализовать стабильное сгорание смесей, обедненных до $\alpha = 10$ и более. Подобная активность водорода как высокоэффективного химического реагента (катализатора) обусловлена его способностью в условиях высоких температур при горении топлива генерировать активные частицы (центры зарождения реакций окисления) [3].

Кроме того, при горении водорода толщина зоны гашения (пристеночный слой, в котором не идут окислительные процессы) примерно в 5 раз меньше, чем у углеводородных топлив. Это свойство водорода предопределяет высокую его эффективность воздействия как химического реагента на кинетику сгорания расслоенной смеси во всем объеме КС, включая и ее периферийные и пристеночные зоны. Ясно, что полнота сгорания при этом возрастает, эмиссия токсических веществ снижается.

При формировании системы функциональных средств и технических решений, реализующих предлагаемый метод, в данном исследовании была использована хорошо зарекомендовавшая в исследовательской практике технология изготовления бортовых генераторов водородосодержащего продукта. Эта технология, разработанная в рамках совместного сотрудничества в ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» и Университета машиностроения [3,4], была усовершенствована с целью адаптации её к условиям проведения данного исследования.

Схема, поясняющая стратегию практической реализации предлагаемого метода на двигателе с НВБ, приведена на рисунке 2. Как видно, в качестве химического реагента используется водородосодержащие продукты генерируемые в бортовом реакторе на основе конверсии метанола.

Ключевым аспектом (по условию реализации принятой стратегии) является обеспечение на всех режимах работы ДВС с расслоенным зарядом строго дозированным количеством водородосодержащего реагента по условию достижения предельно возможного уровня снижения NO_x .

В системе управления работой ДВС с НВБ предусматривается штатная схема регистрации моментов начала и завершения режимов с послойным смесеобразованием. Эти функци-

ональные возможности схемы были использованы для организации автоматического управления подачей химического реагента в цилиндры двигателя в период его работы на расслоенных смесях. Для опытного двигателя в соответствии со штатной программой управления (Motronic MED 7.1.1. фирмы Bosch) установлен диапазон изменения режимов с устойчивой работой на расслоенных смесях. В этом диапазоне, по данным предварительно проведенного исследования, определен оптимальный алгоритм управления расходом реагента в системе питания ДВС по условию достижения предельно возможного снижения NO_x , который был функционально скоординирован с программой управления топливopодачей.

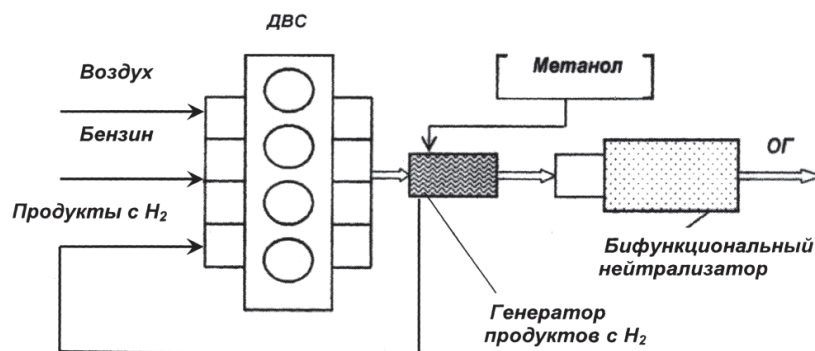


Рисунок 2. Схема, поясняющая стратегию практической реализации предлагаемого метода на опытном двигателе с НВБ

С учетом целевой направленности исследования для его проведения была применена система очистки ОГ традиционной структуры (с одним бифункциональным нейтрализатором). По результатам сравнительных испытаний двигателя установлено, что реализация предлагаемого метода обеспечивает уровень эффективности по снижению эмиссии NO_x , равнозначный комплексной системе нейтрализации с DeNO_x-нейтрализатором. При этом регистрировалось повышение эффективного КПД двигателя на 3,5% и снижение эмиссии CO и CH, что позволило снизить функциональную нагрузку на штатный бифункциональный нейтрализатор. Таким образом, была подтверждена целесообразность практической реализации метода как альтернативного варианта взамен существующей комплексной системе. По предварительной оценке отказ от применения дорогостоящего DeNO_x-нейтрализатора позволяет снизить себестоимость системы нейтрализации на 40%.

Наиболее важным достоинством предлагаемого метода является то, что в период работы ДВС на режимах с расслоением заряда исключена необходимость организации часто чередующихся циклов резкого повышения температуры ОГ, необходимых для регенерации DeNO_x-нейтрализатора (в виду отсутствия такового), тем самым исключены рассмотренные выше негативные проявления, сопутствующие регенерации.

Кроме того, была выявлена возможность расширения диапазона мощности опытного ДВС для эксплуатационных режимов с послойной организацией заряда (область С на рисунке 1) более чем на 30% при сохранении цикловой стабильности сгорания. Это предопределяет возможность для снижения путевого расхода топлива автомобилем в условиях реального ездового процесса вследствие сокращения периода работы ДВС на менее экономичных режимах с гомогенным смесеобразованием. Применение данного метода может быть успешно совмещено с рядом других мероприятий по экологическому совершенствованию систем НВБ для перспективных транспортных ДВС, дополняя и усиливая при этом их совокупную эффективность.

В заключение следует подчеркнуть, что успешная реализация экономически оправданных и эффективных решений (в том числе как альтернативы - на основе предлагаемого метода) рассмотренных проблем развития систем НВБ позволит при минимальных финансовых затратах более оперативно решить актуальную проблему отечественного двигателестроения – создание российского автомобильного бензинового двигателя нового поколения с внутренним смесеобразованием.

Литература

1. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Учебник для вузов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 720 с.
2. Houston R., Cathcart G. Combustion and Emission Characteristics of Orbital's Combustion Process Applied to Multi-Cylinder Automotive DI 4-Stroke Engines// SAE Paper 980153. - 1998. - P. 34-48.
3. Фомин В.М., Каменев В.Ф., Хрипач Н.А. и др. Оценка методов и способов получения водородосодержащего топлива для питания силовых установок АТС // Сборник научных трудов. Выпуск 239. М.: Изд-во ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2008. с. 38-71.
4. Фомин В.М., Каменев В.Ф. Бортовое генерирование водородосодержащего газа для транспортных двигателей. // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 2(32). с. 41-47.

Использование лазерного света в автомобильной светотехнике

доц. Хортов В.П., Гребенчиков А.П., д.ф.-м.н. проф. Скворцов А.А.

Университет машиностроения (МАМИ),

(495) 223-05-37, khortov045@mail.ru, grebenchikov91@mail.ru, skvortsova2009@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность использования лазеров в системе освещения автотранспортных средств.

Ключевые слова: лазер, источник света, автомобильные осветительные приборы, автотракторное электрооборудование

Автомобильные светотехнические приборы прошли долгий путь развития от газовых источников света до светодиодных ламп. Вслед за светодиодными лампами пришла идея использования лазеров в светотехнике, поскольку современные технологии их изготовления позволяют сделать это [1].

Физической основой работы лазера служит квантовомеханическое явление вынужденного (индуцированного) излучения как в непрерывном, так импульсном режиме [2].

Это явление А. Эйнштейн предсказал еще в 1916 г., а в 1936 г. подтвердил русский физик В.А. Фабрикант, который, анализируя спектр газового разряда, пришел к выводу: свет можно усилить, стимулируя излучение, и сформулировал необходимые для этого условия. Затем в 1951 г. вместе с М.М. Вудынским (тогда заведующий кафедрой физики МАМИ) и Ф.А. Бутаевой впервые экспериментально подтвердил свои предположения. Тогда же была подана заявка на изобретение, сформулированная следующим образом: «предлагается способ усиления электромагнитного излучения, основанный на использовании явления индуцированного излучения». Потом во многом на этой основе Н.Г. Басов и А.М. Прохоров (сотрудников Физического института АН СССР), а также Ч. Таунс (США) в 1960–1962 гг. разработали лазер на рубине, газовый лазер и, наконец, лазер на полупроводниковых элементах. За что все трое в 1964 г. были отмечены Нобелевской премией.

Именно полупроводниковые лазеры идеально подходят для автомобильной техники, так как имеют очень маленькие размеры и требуют для питания, в отличие от газовых и твердотельных лазеров, низкое напряжение.

Есть у них и другие достоинства, которые вытекают из принципа их работы. Согласно зонной теории [3], электроны в полупроводнике могут занимать две энергетические зоны (рисунок 1): нижнюю – валентную и верхнюю – зону проводимости. В чистом (ненагретом) полупроводнике все электроны связаны и занимают энергетический уровень, расположенный в пределах валентной зоны.

Если же на него подействовать электрическим током или световым импульсом, то некоторая часть электронов перейдет в зону проводимости. В результате такого перехода в валентной зоне окажутся «дырки», которые играют роль положительного заряда, участвующе-