

первоначальный момент зарядного процесса, общая длительность полного заряда аккумуляторных батарей приблизительно соответствует режиму при постоянстве тока. Заряд по такой методике предпочтителен, так как он обеспечивает более быстрое доведение батареи до состояния, позволяющего обеспечить пуск двигателя. Кроме того, сообщаемая на первоначальном этапе заряда энергия тратится преимущественно на основной зарядный процесс, то есть на восстановление активной массы электродов. При этом реакция газообразования в аккумуляторе еще невозможна.

При наличии регулятора напряжения возможен модифицированный заряд. Его цель - уменьшить силу тока в начальный период заряда и понизить влияние колебания напряжения в сети на зарядный ток. При использовании этого метода напряжение на клеммах зарядного устройства поддерживается постоянным в пределах от 2,5 до 3,0 В на один аккумулятор. Считается, что для свинцовых аккумуляторов наилучшим является напряжение 2,6 В на аккумулятор, обеспечивающее заряд ориентировочно за 8ч.

Вывод

Синхронный генератор, установленный на валу ротора ветроустановки вертикального типа, обеспечивает оптимальный режим при зарядке тяговой аккумуляторной батареи при наличии регулятора напряжения. Изменение внутреннего сопротивления составляет 150%, что позволяет создать форсированный режим на начальном этапе зарядки.

Литература

1. Овсянников Е.М., Долбилин Е.В., Кошеляев Е.М. Электрооборудование автотранспортных средств с тяговыми электроприводами. - М.: Палеотип, 2001, - 363 с.
2. Теория и расчет тягового привода электромобилей / Под ред. И.С. Ефремова. - М.: Высшая школа, 1984, - 383 с.
3. Shepherd C.M. Design of primary and secondary cells. An equation describing battery discharge. - J. Electrochem. Soc., 1965, vol. 112(7). P. 667-644.
4. Романов В.В., Хашев Ю.М. Химические источники тока. - М.: Советское радио, 1978, - 150 с.
5. A comparison of energy use and emissions from Direct-Hydrogen, Indirect Methanol and Indirect Hydrocarbon Fuel Cell Vehicles and fuel production / Report of Fuel Cell Vehicle Modeling Project Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, 2001. 156 pages.

Исследование двигателя с расслоением заряда на экспериментальной установке с выделенным цилиндром

д.т.н. проф. Кузнецов И.В., Сычев А.М., д.т.н. проф. Денисов А.В.
ФГБОУ ВПО «МГИУ», НИИЦ АТ 3 ЦНИИ МО РФ
8 (915) 159-44-62, sam61@mail.msiu.ru

Аннотация. Предложен процесс сгорания расслоенного заряда для двигателя с принудительным воспламенением смеси. Для реализации процесса разработаны и изготовлены детали системы впуска и головка цилиндра. Проведены исследования на экспериментальной установке, созданной на базе полноразмерного двигателя с выделенным цилиндром, который имел автономные системы питания, зажигания и выпуска. Сравнительные исследования выделенного цилиндра, работающего по обычному процессу и процессу с расслоением заряда, показали, что при работе с расслоением заряда улучшается топливная экономичность более чем на 10 % и снижается содержание в отработавших газах оксида углерода (СО), углеводородов (СН) и оксидов азота (NOx) на 40-50 %.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, расслоение заряда, моторный стенд, выделенный цилиндр, вихревое движение, экономичность, отработавшие газы, оксид углерода, углеводороды, оксиды азота

Поиск путей улучшения топливной экономичности при снижении содержания вредных веществ в отработавших газах (ОГ) является одним из основных направлений совершенствования двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с принудительным воспламенением смеси. Для выполнения перспективных требований к выбросам вредных веществ с ОГ зачастую недостаточно модернизировать имеющиеся конструкции ДВС – требуется принципиально новая организация рабочего процесса, которая позволит эффективно сжигать в цилиндре бедные топливовоздушные смеси. Сжигание бедных смесей в цилиндре ДВС можно осуществить путем расслоения заряда в цилиндре, при котором в районе свечи зажигания образуют зону с богатой смесью при заполнении остального объема цилиндра бедной смесью вплоть до чистого воздуха. Богатая смесь легко воспламеняется свечой зажигания и сгорает, а продукты ее сгорания, имеющие высокую температуру, будут догорать в воздухе [1]. Такой организации рабочего процесса будет способствовать интенсивное движение заряда в цилиндре при условии малого перемешивания заряда в процессе смесеобразования и сгорания. Основными преимуществами подобного процесса являются улучшение топливной экономичности и снижение выбросов токсических веществ с отработавшими газами.

Расслоение заряда используется в серийно выпускающихся двигателях Mitsubishi, Nissan, Toyota, Volkswagen [2]. Работы по созданию двигателя с возможностью работы на расслоенном заряде ведутся в ЗМЗ и НАМИ [3]. Отличительной особенностью конструкции упомянутых выше двигателей является сосредоточение богатой смеси в центре камеры сгорания, что ведет к повышению уровня выбросов углеводородов из-за низких температур на периферии цилиндра, где сгорает бедная смесь. В России также проводятся исследования двигателей с образованием расслоенного заряда путем применения дополнительных технических средств [4, 5]. За рубежом расслоение заряда исследуется как неотъемлемый элемент рабочего процесса двигателей с непосредственным впрыскиванием бензина [6, 7].

Цель проведенных исследований заключалась в улучшении топливной экономичности при снижении выбросов вредных веществ с ОГ путем расслоения заряда в цилиндре ДВС с принудительным воспламенением смеси.

В соответствии с поставленной целью были решены следующие задачи:

- предложены процессы смесеобразования и сгорания, при которых наряду с высокой турбулентностью заряда в цилиндре сохраняется его расслоение в камере сгорания;
- разработаны и изготовлены опытные образцы головки цилиндра и впускной трубы для выделенного цилиндра, в котором могут быть реализованы предложенные процессы смесеобразования и сгорания;
- проведены сравнительные исследования выделенного цилиндра, работающего по обычному процессу и процессу с расслоением заряда.

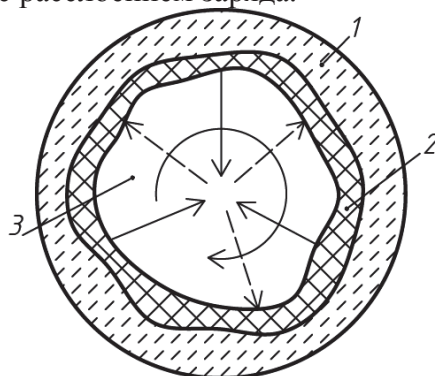


Рисунок 1. Особенности процесса сгорания расслоенного заряда: 1 – богатая смесь; 2 – зона горения; 3 – воздух; — — — движение продуктов сгорания из зоны горения; - - - - движение воздуха в зону горения

Концепция процессов смесеобразования и сгорания заключается в том, чтобы создать в цилиндре к моменту зажигания расслоенный заряд при его интенсивном направленном вихревом движении. При этом богатая смесь должна быть образована вблизи стенок камеры сгорания, а воздух или бедная смесь сосредоточена в центре образованного вихря (рисунок

1).

Предполагается, что горение обогащенной смеси будет происходить в кольцевой зоне вблизи стенок камеры сгорания (КС), в которой коэффициент избытка воздуха будет равен $0,9 \dots 1,0$. Горячие продукты сгорания, имеющие меньшую плотность, будут отводиться из зоны горения к оси образованного вихря, и, нагревая, вытеснят воздух в зону горения, куда будет поступать нагретая обогащенная смесь с периферии вихря (от стенок КС). Такое осуществление процесса сгорания позволит отводить продукты сгорания из зоны горения, что улучшит его полноту и снизит образование вредных веществ.

Для реализации предложенного рабочего процесса было решено использовать тангенциальный подвод в цилиндр расслоенного заряда. Схема ДВС, в котором может быть реализована подобная организация смесеобразования и сгорания, представлена на рисунке 2.

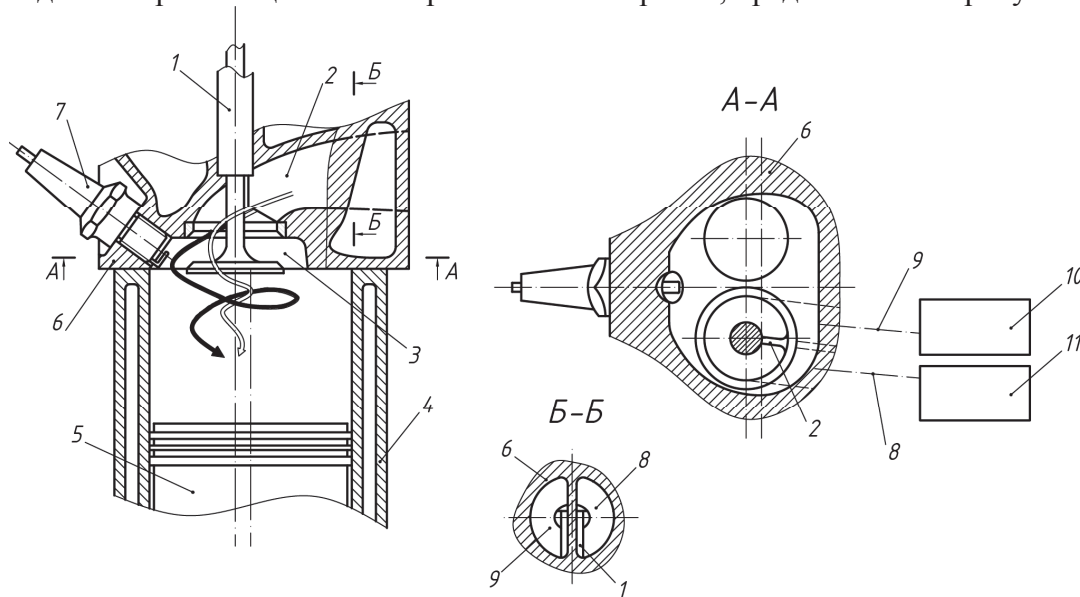


Рисунок 2. Схема ДВС с тангенциальным подводом в цилиндр расслоенного заряда: 1 – впускной клапан; 2 – перегородка; 3 – камера сгорания; 4 – цилиндр; 5 – поршень; 6 – головка цилиндра; 7 – свеча зажигания; 8 – канал для подачи обогащенной смеси; 9 – канал для подачи обедненной смеси; 10 – карбюратор для дозирования обедненной смеси; 11 – карбюратор для дозирования обогащенной смеси

Двигатель содержит цилиндр 4 с поршнем 5 и головкой 6, в которой размещена камера сгорания 3 со свечой зажигания 7. Впускной патрубок, размещенный в головке 6 и разделенный при помощи перегородки 2 на два тангенциальных канала 8 и 9, снабжен впускным клапаном 1 и предназначен для подвода в цилиндр 4 свежего заряда. Канал 8 соединен с устройством 11 для образования обогащенной смеси, а канал 9 соединен с устройством 10 для дозирования воздуха.

Заряд, состоящий из обогащенной смеси и воздуха, поступает в цилиндр 4 по каналам 8 и 9 так, что обогащенную смесь направляют к стенке цилиндра 4, а воздух поступает к оси цилиндра. В результате впуска и сжатия в КС 3 образуется вихревое движение заряда с неравномерным распределением топлива, так что обогащенная смесь сосредотачивается у стенок КС, а воздух – в ее центре. Воспламенение обогащенной смеси осуществляется свечой зажигания 7.

Объектами исследования являлись головки цилиндра, одна из которых – от обычного ДВС – была предназначена для подвода в цилиндр гомогенного заряда, а другая – экспериментальная – для подвода расслоенного заряда. Экспериментальная головка цилиндра собиралась из двух частей, в каждой из которых были выполнены части впускного и выпускного каналов, а также полости систем смазки и охлаждения (рисунок 3).

Половины головки были соединены, и в нее были установлены впускной и выпускной клапаны, а также перегородка во впускной канал, конструкция которого показана на рисунке 4. На рисунке 5 показаны головки цилиндра, которые исследовались на моторном стенде.

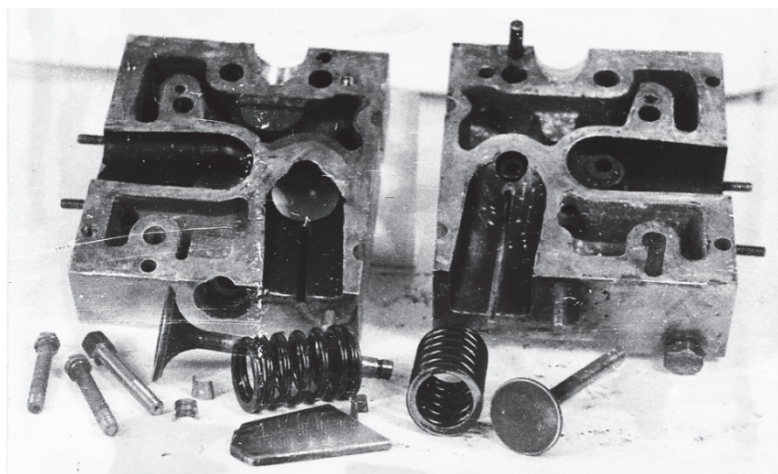


Рисунок 3. Экспериментальная головка цилиндра

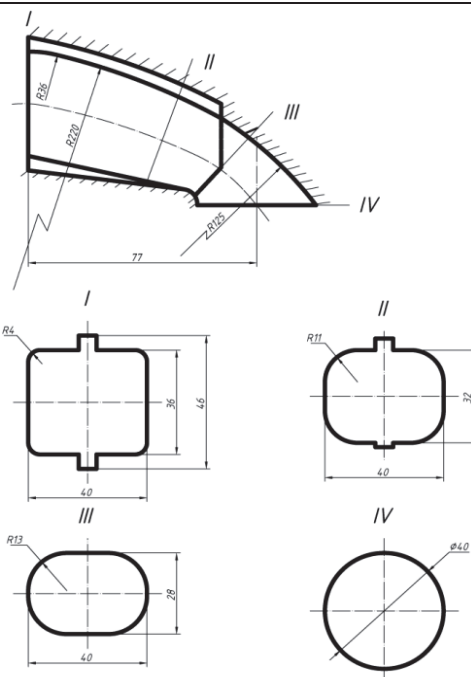


Рисунок 4. Конструкция впускного канала

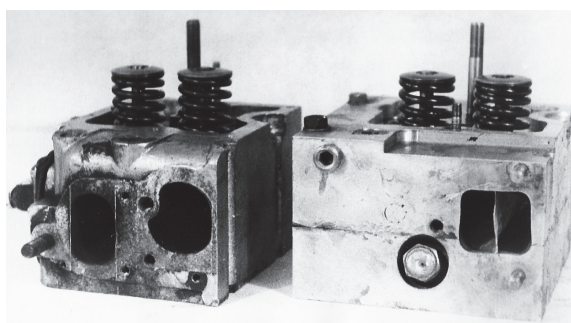


Рисунок 5. Головки выделенного цилиндра

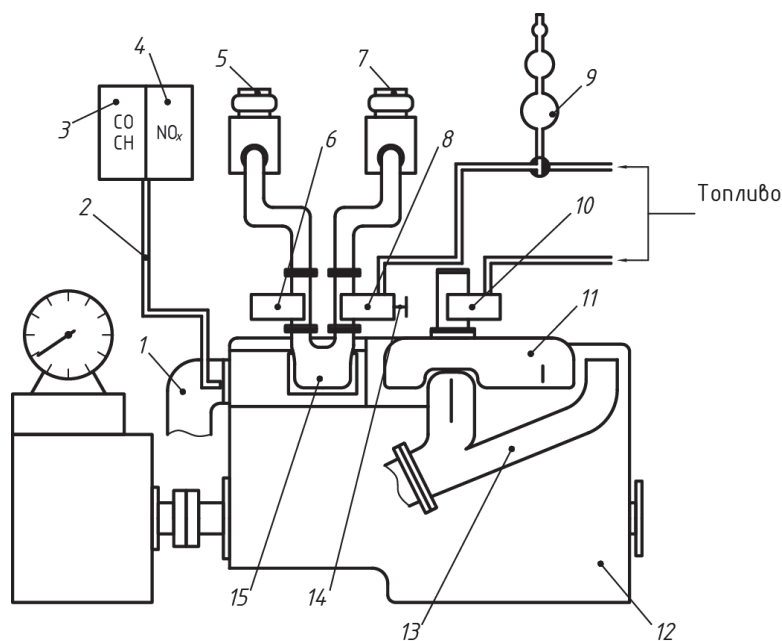


Рисунок 6. Схема экспериментальной установки

На рисунке 6: 1 – выпускная труба выделенного цилиндра; 2 – магистраль подвода ОГ на газоанализаторы; 3 – газоанализатор CO и CH; 4 – газоанализатор NO_x; 5 и 7 – счетчики расхода воздуха; 6 – карбюратор для дозирования воздуха в выделенный цилиндр; 8 – кар-

бюратор для дозирования смеси в выделенный цилиндр; 9 – штихпробер; 10 – карбюратор вспомогательных цилиндров; 11 - впускная труба вспомогательных цилиндров; 12 – двигатель; 13 – выпускная труба вспомогательных цилиндров; 14 – регулировочная игла; 15 – впускная труба выделенного цилиндра

Исследования проводились на экспериментальной установке с выделенным цилиндром, изготовленной на базе полноразмерного четырехцилиндрового ДВС УМЗ-414 (рисунок 6).

Экспериментальная установка содержала двигатель 12, три цилиндра которого являлись вспомогательными и работали при фиксированном, специально подобранном положении дроссельной заслонки карбюратора и углах опережения зажигания θ , рекомендованных заводом-изготовителем. Питание трех вспомогательных цилиндров осуществлялось через общую впускную трубу 11, подсоединенную к карбюратору 10 модели К-126. Выпуск ОГ трех вспомогательных цилиндров осуществлялся в общую выпускную трубу 13.

Система питания выделенного цилиндра содержала сдвоенную впускную трубу 15, которая была соединена с двумя карбюраторами К-127 6 и 8 (рисунок 7).

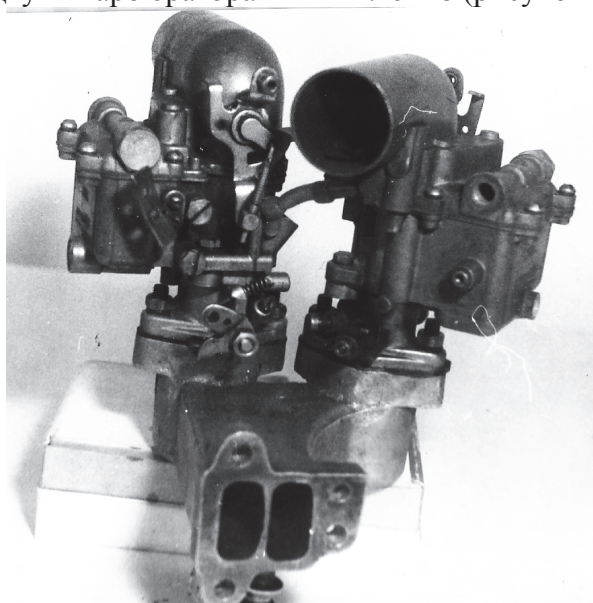


Рисунок 7. Впускная труба и карбюраторы для подвода в выделенный цилиндр расслоенного заряда

Карбюраторы были подсоединены к расходомерам 5 и 7, в качестве которых были использованы счетчики РГ-40. Карбюратор 8, предназначенный для подвода в выделенный цилиндр топливовоздушной смеси, подсоединялся к штихпроберу 9 с объемами колб 32, 27 и 8 см³. Количество подаваемого топлива изменялось регулировочной иглой 14. Карбюратор 6 дозировал в выделенный цилиндр чистый воздух. Выпускная труба 1 выделенного цилиндра была снабжена зондом для отбора проб ОГ, соединенным через магистраль 2 с газоанализаторами. Концентрация СО и СН измерялась газоанализатором 3 модели Бекман-590, концентрация NO_x – газоанализатором 4 модели Бекман-951.

Техническая характеристика выделенного цилиндра приведена в таблице 1.

Таблица 1

Техническая характеристика выделенного цилиндра

Диаметр цилиндра, м	$92 \cdot 10^{-3}$
Ход поршня, м	$92 \cdot 10^{-3}$
Тип камеры сгорания	плоскоовальная
Степень сжатия	6,8
Свеча зажигания	А-11
Бензин	АИ-80

Двигатель был снабжен экспериментальным распределителем зажигания с двумя кулачковыми шайбами (рисунок 8) так, что угол опережения зажигания в выделенном цилиндре

можно было регулировать независимо от угла опережения зажигания во вспомогательных цилиндрах и измерять с помощью стробоскопа СТ-5 (рисунок 9).

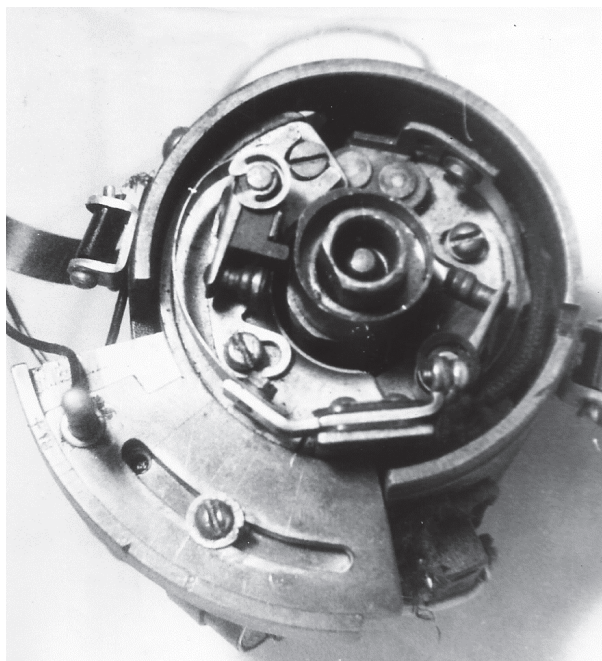


Рисунок 8. Экспериментальный распределитель зажигания

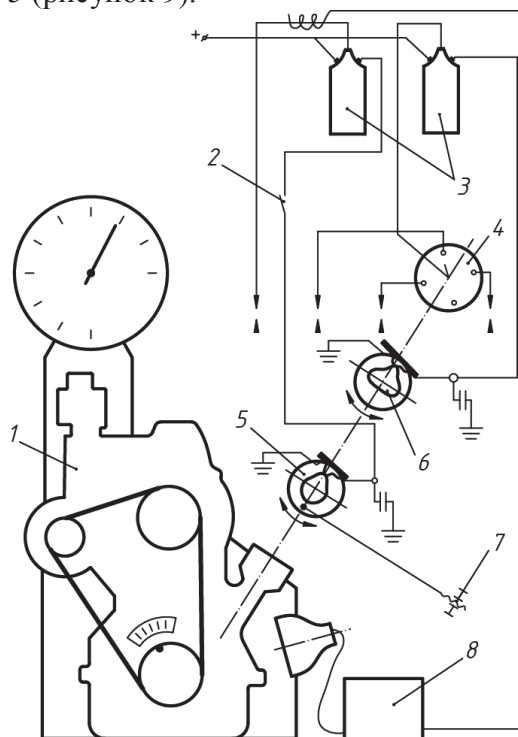


Рисунок 9. Схема системы зажигания в экспериментальной установке

На рисунке 9: 1 – двигатель; 2 – ключ отключения зажигания в выделенном цилиндре; 3 – катушки; 4 – прерыватель; 5 – кулачковая шайба выделенного цилиндра; 6 – кулачковая шайба вспомогательных цилиндров; 7 – регулятор угла опережения зажигания в выделенном цилиндре; 8 – стробоскоп.

Мощностные и экономические показатели выделенного цилиндра определялись методом отключения в нем зажигания [8]. Для определения индикаторной мощности выделенного цилиндра получали эффективную мощность при работе четырех цилиндров N_{e4} , а затем ключом 2 отключали зажигание в выделенном цилиндре, выводили двигатель на тот же скоростной режим и измеряли эффективную мощность при работе на трех вспомогательных цилиндрах N_{e3} . Таким образом, индикаторную мощность выделенного цилиндра получали по формуле:

$$N_i = N_{e4} - N_{e3}. \quad (1)$$

Топливная экономичность характеризуется удельным индикаторным расходом топлива, определяемым по формуле:

$$g_i = \frac{G_T}{N_i}, \quad (2)$$

где: G_T – расход топлива, поступающего в выделенный цилиндр, кг/ч.

Программа проведения исследований предусматривала получение регулировочных характеристик по составу смеси при различных значениях коэффициента наполнения, определяемого по формуле:

$$\eta_V = \frac{G_{e\Sigma}}{30 \cdot \rho_e \cdot V_h \cdot n}, \quad (3)$$

где: ρ_e – плотность воздуха, поступающего в цилиндр, кг/м³; V_h – рабочий объем выделенного цилиндра, м³; n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹, $G_{e\Sigma}$ – суммарный расход воздуха через выделенный цилиндр, кг/ч:

$$G_{e\Sigma} = G_{e1} + G_{e2}, \quad (4)$$

где: $G_{\epsilon 1}$ – расход воздуха через смесевой канал, кг/ч;
 $G_{\epsilon 2}$ – расход воздуха через воздушный канал, кг/ч.

Коэффициент избытка воздуха в заряде, поступающем в выделенный цилиндр, определялся по формуле:

$$\alpha = \frac{G_{\epsilon \Sigma}}{G_T \cdot l_0}, \quad (5)$$

где: l_0 – стехиометрическое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива.

Коэффициент расслоения заряда определялся по формуле:

$$\xi = \frac{G_{\epsilon 1}}{G_{\epsilon \Sigma}}. \quad (6)$$

Исследования проводились при $\xi = 0,455$.

Коэффициент избытка воздуха в смеси, поступающей в выделенный цилиндр через смесевой канал, определялся по формуле:

$$\alpha_1 = \frac{G_{\epsilon 1}}{G_T l_0}. \quad (7)$$

На рисунке 10 показаны полученные на различных нагрузочных режимах при $n = 2700$ мин⁻¹ и оптимальных углах опережения зажигания θ сравнительные регулировочные характеристики по составу смеси в выделенном цилиндре, работающем по обычному процессу и по процессу с расслоением заряда.

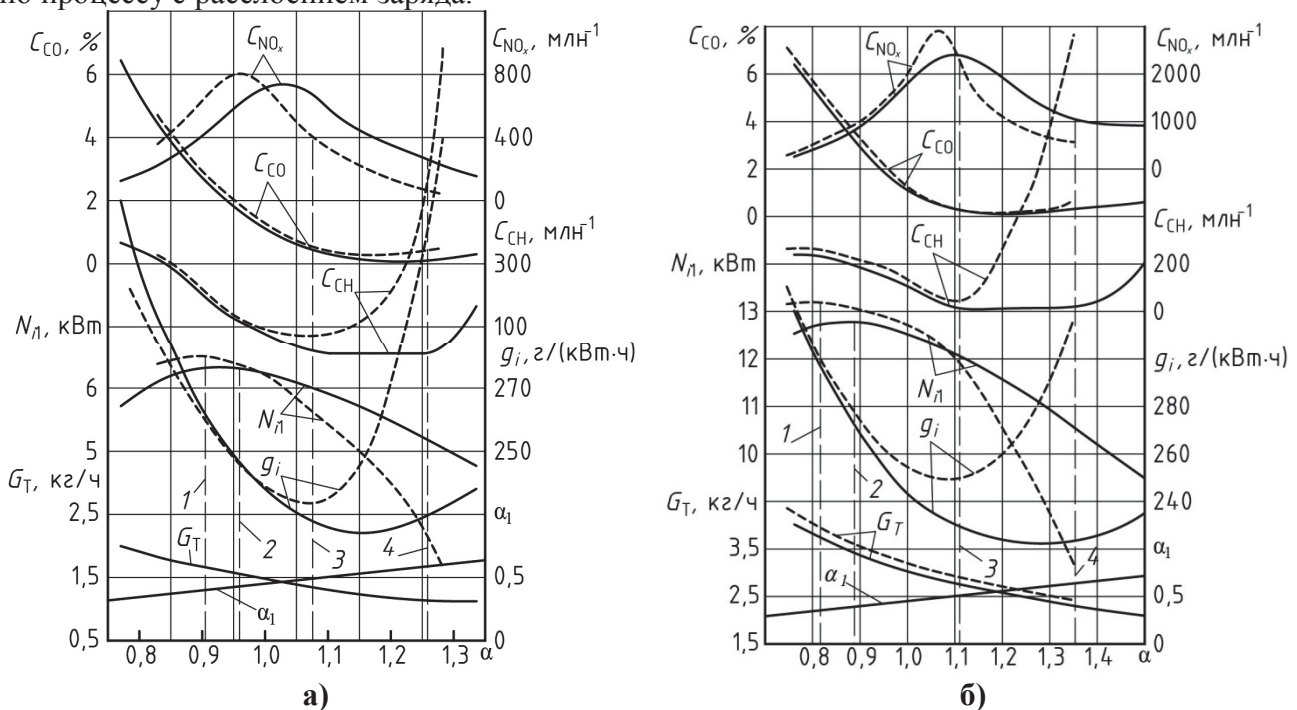


Рисунок 10. Сравнительные регулировочные характеристики по составу смеси при $n = 2700$ мин⁻¹: а – при $\eta_V = 0,39$, $\theta = 37^\circ$ п. к. в.; б – при полностью открытых дроссельных заслонках; $\theta = 37^\circ$ п. к. в.; $\eta_V = 0,89$ для обычного процесса; $\eta_V = 0,86$ для процесса с расслоением заряда; - - - - - обычный процесс; — — — процесс с расслоением заряда; 1 – мощностной состав смеси для обычного процесса; 2 – мощностной состав смеси для процесса с расслоением заряда; 3 – предел экономичного обеднения для обычного процесса; 4 – предел экономичного обеднения для процесса с расслоением заряда

Характеристики показывают, что максимальная мощность выделенного цилиндра, работающего по обычному процессу, больше, чем при работе с расслоением заряда, на 3-4 %, что указывает на снижение скорости сгорания слишком богатой смеси в расслоенном заряде.

Однако при работе на стехиометрических смесях мощности выравниваются, а при дальнейшем обеднении смеси мощность выделенного цилиндра, работающего с расслоением заряда, превышает мощность цилиндра при работе по обычному процессу.

При работе на пределе экономичного обеднения g_i цилиндра, работающего с расслоением заряда, улучшается на 10-12 %. При этом выбросы CO , CH и NO_x с отработавшими газами снижаются на 40-50 %.

Стоит отметить, что при работе цилиндра с расслоением заряда при полностью открытых дроссельных заслонках η_V на 5 % меньше, что объясняется увеличением сопротивления на впуске из-за двух карбюраторов и перегородки во впускной трубе и головке цилиндров. Этим обусловлено снижение часового расхода топлива G_T по сравнению с обычным процессом. При работе с заданным коэффициентом наполнения значения G_T для обычного процесса и процесса с расслоением заряда совпадают.

Заключение

Для проведения сравнительных исследований на моторном стенде были изготовлены детали системы впуска и экспериментальная установка с выделенным цилиндром, который мог работать по различным рабочим процессам.

На установке проведены стендовые исследования выделенного цилиндра с тангенциальным подводом расслоенного заряда, в котором улучшена экономичность более чем на 10 %, при снижении концентрации в отработавших газах оксида углерода, углеводородов и оксидов азота на 40-50 % по сравнению с обычным рабочим процессом благодаря увеличению эффективности сгорания бедных смесей.

Полученные результаты доказывают перспективность применения расслоения заряда в серийных ДВС и обоснованность дальнейших исследований в этой области.

Литература

1. Кузнецов И.В. Увеличение мощности, улучшение топливной экономичности, экологических показателей и детонационных качеств в двигателе внутреннего сгорания с искровым зажиганием. - М.: МГИУ, 2008. - 158 с.
2. Arcoumanis C., Kamimoto T. Flow and combustion in reciprocating engines. - Берлин: Springer Berlin Heidelberg, 2008. - 420 с.
3. Сонкин В.И., Артемов А.А., Бажинов А.А., Миронычев М.А. Экспериментальный бензиновый двигатель ЗМЗ-НАМИ с непосредственным впрыскиванием // Автомобильная промышленность. - 2007. - № 1, с. 10-14, № 2, с. 8-11, № 3, с. 12-14.
4. Гибадуллин В.З. Влияние локальных микродобавок водорода на процесс воспламенения в ДВС с искровым зажиганием // Известия ВолгГТУ. Серия "Процессы преобразования энергии и энергетические установки". - 2011. - Т. 8. - № 3. - С. 64-66.
5. Самойлов Н.П., Самойлов Д.Н., Михеев А.А., Москалёв Л.В. Влияние дополнительного завихрения и расслоения заряда в цилиндре на процесс наполнения // Вестник Казанского государственного аграрного университета. - 2008. - Т. 8. - № 2. - С. 153-156.
6. Kubota T., Shinmura N., Naitoh K. Cycle-Resolved Computations of Stratified-Charge Turbulent Combustion in Direct Injection Engines // Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress. - Т. 2. - Beijing, 2012. - С. 931-940.
7. Park C., Kim S., Kim H., Moriyoshi Y. Stratified lean combustion characteristics of a spray-guided combustion system in a gasoline direct injection engine // Energy. - 2012. - Т. 41. - № 1. - С. 401-407.
8. Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей: учеб. для вузов / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. - М.: Машиностроение, 1983. - 372 с.