

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИСАДКИ ВОЗДУХА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАПСОВОГО МАСЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ

С.П. Кулманаков, А.В. Шашев, А.Е. Свистула,
Г.Д. Матиевский, С.С. Кулманаков

В статье приведены результаты исследований рабочего процесса и токсичности двигателя 1Ч13/14 при использовании специально разработанной системы совместной подачи воздуха и рапсового масла. Представлена конструкция форсунки для совместной подачи топлива и воздуха

Ключевые слова: дизель, рапсовое масло, присадка воздуха, топливо

В настоящее время потребности народного хозяйства в энергетике удовлетворяются на 90% ископаемыми видами топлива (нефть, уголь, природный газ). Но большинство ученых предполагают, что неизбежное повышение цен на эти виды топлива приведет к тому, что все большее значение будут иметь альтернативные источники энергии.

Поиски новых источников энергии имеют целый ряд причин, а именно:

- ограниченность запасов ископаемых источников топлива;
- зависимость от стран и регионов, экспортирующих нефть;
- парниковый эффект, который обусловлен поступлением в атмосферу двуокиси углерода;
- загрязнение атмосферы выхлопными газами.

Современные проблемы энергетики могут быть решены только при рациональном использовании всех существующих на Земле и околоземном пространстве источников топлива и энергии. Среди них биомасса, как постоянно возобновляемый источник топлива, занимает существенное место.

Для замены дизельного топлива на альтернативное могут быть использованы растительные масла и наиболее подходящими по своим физико-химическим, экономическим и экологическим свойствам является рапсовое масло.

Для повышения эффективности применения рапсового масла в качестве топлива предлагаются различные конструктивные мероприятия, одним из которых является применение воздушной присадки на линии высокого давления (рисунок 1).

При истечении газожидкостной смеси через сопло или жиклер происходит увеличение объема газовой фазы, и струя смеси

расширяется. Относительное увеличение объема струи зависит от концентрации воздуха в смеси.

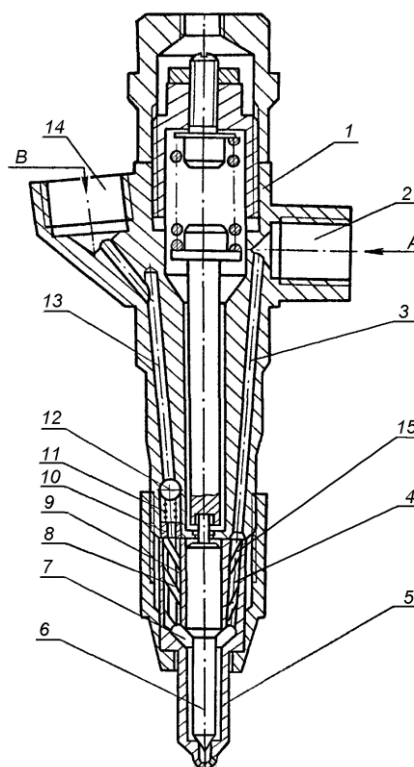


Рисунок 1 - Экспериментальная форсунка:
1 – корпус форсунки; 2 – штуцер подвода топлива; 3 – канал подвода топлива;
4 – смешительная камера топливного канала; 5 – распылитель; 6 – игла распылителя;
7 – подъязычная полость; 8 – смешительно-диспергирующая камера газового канала;
9 – винтовая вставка; 10 – жиклер;
11 – пружина обратного клапана;
12 – обратный клапан; 13 – газовый канал;
14 – штуцер подвода газа
А – подвод топлива; В – подвод газа

К преимуществам такого впрыскивания исследователи относят дополнительное диспергирование топлива и более качественное распределение его по окислителю за счет расширения пузырьков воздуха и газов на выходе из сопловых отверстий распылителя, и улучшение условий его воспламенения, тем самым уменьшается вероятность образования зон, обогащенных топливом. По месту ввода воздуха или газов в топливо известные конструкции можно разделить на следующие группы:

1. Растворение воздуха в дизельном топливе на линии низкого давления.

2. Смешивание дизельного топлива с воздухом в линии высокого давления на участке от топливного насоса до форсунки.

3. Смешивание дизельного топлива с воздухом или с внутрицилиндровыми газами непосредственно в форсунке.

Конструкции, отнесенные к первой группе, предполагают полное растворение воздуха в топливе. В соответствии с законом Генри, объемное количество газа, которое может раствориться в жидкости до ее насыщения, прямо пропорционально давлению на поверхности раздела двух фаз. Для дизельного топлива значение коэффициента растворимости составляет $k \approx 1,2$ (при температуре 35-40°C).

Отсюда ясно, что устройства первой группы не позволяют подавать сколь угодно значительные концентрации воздуха и оперативно управлять концентрацией последнего, они также сложны и, в большинстве, имеют значительную массу.

Наиболее перспективным направлением в данном случае является использование пористых керамических материалов. Так в системе для растворения газов в топливе [6], предназначенной для улучшения воспламенения и сгорания топлива, впрыскиваемого в цилиндры ДВС, эффект достигается за счет предварительного насыщения топлива воздухом или кислородом. Основным элементом системы является сатуратор, устанавливаемый в топливную систему перед насосом высокого давления и включающий в себя пористый минеральный сердечник. Сердечник выполнен в виде полого цилиндра и заключен в герметичный металлический корпус.

За счет повышенного давления взаимодействующих сред при большой площади их контакта в зазоре и порах происходит интенсивное растворение газа в топливе, которое подается к насосу высокого давления. Одним из недостатков предлагаемой системы явля-

ется возможность образования газовых пробок при выделении газа из топлива, поэтому в системе предусмотрен газосборник, через который выделившиеся газы отводятся во впускной трубопровод. Отмеченный недостаток характерен и для других систем подобного типа.

Подача газа к топливу на линии высокого давления позволяет избежать указанного негативного явления. В [2] описывается устройство для аэрации топлива в трубопроводах высокого давления. В сообщающейся с атмосферой ступенчатой расточке корпуса устройства помещен полый подпружиненный плунжер с отверстиями, в исходном положении выступающий в топливный канал. Во внутреннюю полость плунжера входит сплошной неподвижный стержень. При возрастании давления топлива плунжер перемещается вверх перпендикулярно оси канала, полностью открывая его проходное сечение. При соответствующем этому положению плунжера взаимном расположении отверстий в стенках корпуса и плунжера, стержня и тарелки пружины образуется канал, по которому внутренняя полость плунжера под действием возникающего разрежения заполняется атмосферным воздухом. При падении давления топлива в топливопроводе плунжер опускается под действием пружины, тарелка которой перекрывает отверстия, соединяющие устройство с атмосферой. Находящийся в расточке воздух выталкивается тарелкой через отверстия в стенках во внутреннюю полость плунжера, откуда по каналу малого диаметра в теле плунжера воздух поступает в топливный канал, где растворяется в топливе.

Для устройств, относящихся ко второй группе, подобных вышеописанному, также характерны некоторые недостатки, присущие устройствам первой группы. В первую очередь, это ограничение концентрации воздуха в топливе. Присутствие нерастворенного газа в топливе резко увеличивает сжимаемость последнего, что приведет к сбою в работе топливной аппаратуры. Однако, в этих устройствах уже можно достичь большего растворения газа в топливе по массе (2-3 %) за счет более высокого давления в системе.

Устройства, относящиеся к третьей, группе позволяют подавать в цилиндр двигателя топливо, смешанное с газом, то есть двухфазную смесь. Так, в работе [8] описывается конструкция насос-форсунки для подачи топливовоздушной смеси в цилиндр.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИСАДКИ ВОЗДУХА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАПСОВОГО МАСЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ

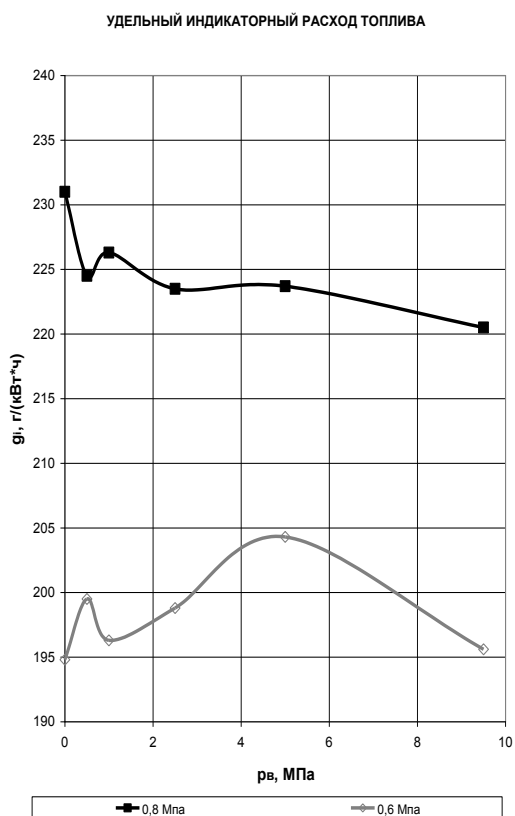


Рисунок 2 - Зависимость удельного индикаторного расхода топлива от давления воздуха в системе при работе двигателя на режимах $p_i = 0,8$ и $0,6$ МПа

Известны также конструкции, где топливо предварительно перемешивается в форсунке с воздухом, отобранным из цилиндра двигателя на такте сжатия. Воздух поступает в верхнюю полость под давлением из цилиндра ДВС, а топливо подается в нижнюю полость топливным насосом высокого давления. В поршне имеются автоматические клапаны, пропускающие воздух в топливную полость при падении в ней давления, что происходит в момент открытия запорного клапана распылителя. Аналогична по конструкции и форсунка из [7]. Особенность ее в том, что в конце хода сжатия игла через распыливающие отверстия вытесняет топливо в камеру предварительного смешения. Одновременно воздух, вытесненный ступенчатой частью иглы из воздушной камеры, с большой скоростью входит по соединительным каналам в камеру предварительного смешения, смешивается с поступающим туда топливом и через сопловые отверстия выходит в камеру сгорания дизеля.

Подача топлива в смеси с газами из внутрицилиндрового пространства осуществляется и в топливной аппаратуре фирмы "Камминс" [5]. Ее особенностью является то, что в основу дозирования положен принцип дросселирования на впуске ("давление-время"). Топливо под давлением, создаваемым топливоподающим насосом, поступает в магистраль, из которой затем по отдельным трубкам направляется к насос-форсункам. Перед входом в каждую насос-форсунку создается одинаковое давление, зависящее от режима работы двигателя и настройки системы регулирования.

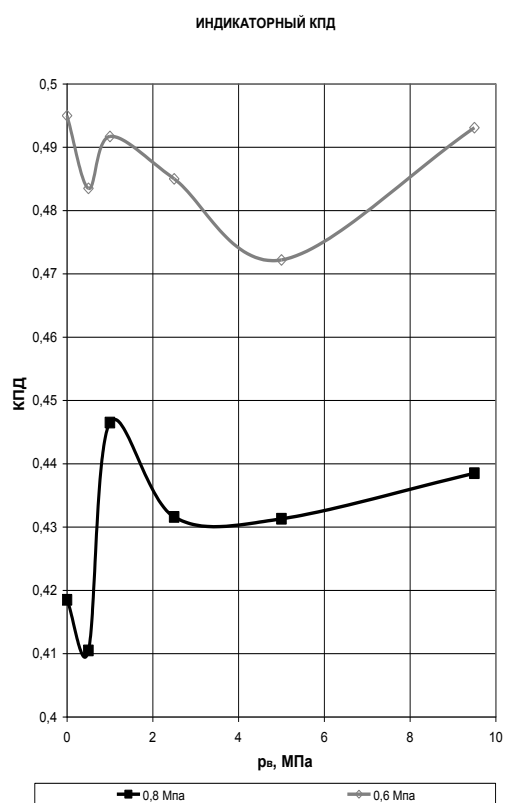


Рисунок 3 - Зависимость индикаторного КПД двигателя от давления воздуха в системе при работе двигателя на режимах $p_i = 0,8$ и $0,6$ МПа

При подъеме плунжера насос-форсунки вверх топливо поступает в подплунжерную полость, при движении плунжера вниз производится впрыск. После окончания впрыска плунжер нижним конусным концом плотно садится на седло распылителя во избежание прорыва горячих газов из цилиндра в топливные магистрали. Количество впрыснутого топлива зависит от давления дозирования и скоростного режима.

Несмотря на наличие конусообразной иглы-плунжера, насос-форсунки представляют собой форсунки открытого типа, поскольку подплунжерная полость непосредственно связана с камерой сгорания, при дозировании и в начале процесса впрыска воздух из цилиндра на такте сжатия поступает в подплунжерную полость. Особенностью насос-форсунок РТ ("давление - время") является смешение топлива с воздухом в полости под плунжером и образование топливоздушной смеси или эмульсии, которая впрыскивается в цилиндр.

Другой особенностью аппаратуры РТ является ступенчатый впрыск топлива, причиной чего служит открытый тип распылителя и большая сжимаемость топливоздушной смеси в начале процесса впрыска.

Перечисленные выше положительные качества топливоподающей аппаратуры РТ в значительной мере являются причиной высоких показателей дизелей фирмы "Камминс". Минимальный удельный эффективный расход топлива не превышает 160 г/л.с.ч (215 г/кВт.ч) при $P_i=1$ МПа, $\alpha=1,25$, жесткость $(dP/d\phi)_{\max}=1,2...1,5$ МПа/град. Двигатель, оборудованный эмульсионной насос-форсункой, имеет индикаторный КПД на 1,5-2 % выше, чем двигатель с традиционной системой топливоподачи.

Наряду с положительными качествами, аппаратура фирмы "Камминс" обладает рядом недостатков, присущих насос-форсункам с механическим приводом, а именно: низкое давление распыливания топлива при малых числах оборотов, применение сопловых отверстий малого диаметра, отсутствие автоматического регулирования опережения впрыскивания, большая продолжительность впрыскивания на малых скоростных режимах.

Итак, среди рассмотренных устройств конструкции последней группы имеют преимущество в том, что не требуют обязательного растворения газов в топливе, что теоретически не ограничивает величину добавки газа. Смешивание газа с топливом непосредственно в форсунке предопределяет большую надежность топливной аппаратуры, так как исключается возможность образования паровых пробок. Использование внутрицилиндровых газов в качестве добавки к топливу упрощает конструкцию топливной аппаратуры (нет необходимости иметь сжатый воздух), но в то же время затрудняет, а в некоторых случаях исключает возможность целенаправленно управлять концентрацией газа в смеси. Поэтому предпочтительнее выглядит

использование сжатого воздуха в качестве добавки к дизельному топливу.

В литературе практически отсутствуют материалы по использованию добавок газа к топливу для быстроходных автотракторных дизелей с топливной аппаратурой разделенного типа. Основная сложность заключается в данном случае в том, что смешивание воздуха с топливом необходимо производить в форсунке с гидравлическим управлением. Лишь в конструкции [1] предлагается насыщать дизельное топливо воздухом в поддвигательной полости форсунки, причем последний подводится через дренажную систему и далее по зазору направляющая иглы - корпус распылителя. При этом достигается увеличение индикаторного КПД до 3 %, снижение температуры отработавших газов на 30...40°, уменьшение выброса сажи до 30 % при умеренной динамике цикла. Однако автор не рассматривает возможность впрыска топлива с нерастворенным воздухом, когда впрыскиваемая смесь является двухфазной средой.

Так как при применении рапсового масла наблюдается ухудшение смесеобразования и увеличение продолжительности сгорания, связанные с особенностями физико-химических свойств, дополнительное перемешивание топливо-воздушной смеси за счет явления «микровзрывов» и перемешивания позволит улучшить экономические и экологические показатели.

С этой целью была разработана специальная система добавки воздуха на линии высокого давления. На рисунке 1 приведена форсунка для совместной подачи топлива и воздуха.

Исследования по добавкам воздуха на линии высокого давления при использовании рапсового масла в качестве альтернативного топлива для ДВС проводились в лаборатории кафедры ДВС Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова на экспериментальной установке с одноцилиндровым отсеком УК-2 тракторного двигателя серии А-01 с размерностью 130/140 производства ОАО ПО АМЗ.

Состав смеси регулируется изменением давления воздуха в магистрали. При очередном впрыске смесь топлива с присадкой через сопловые отверстия поступает в цилиндр дизеля. «Взрывное» выделение газа (или явление «микровзрывов» и «микроструй») улучшает диспергирование топлива и распределение его по окислителю.

Ниже будет проведен краткий анализ результатов лабораторных исследований влия-

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИСАДКИ ВОЗДУХА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАПСОВОГО МАСЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ

ния давления подачи воздуха на показатели работоспособности, экономичности и токсичности дизеля при его работе на чистом рапсовом масле.

Воздух в качестве газообразной присадки был выбран с точки зрения уменьшения эксплуатационных расходов, минимизации воздействия на состав РТ, а также исключения отвода теплоты на фазовый переход (испарение).

Ввод воздуха в цикл снижает максимальную температуру цикла, и увеличивает среднее индикаторное давление при любом угле подачи. Наибольшее значение среднего индикаторного давления достигается при вводе присадки воздуха за 20° п.к.в. до ВМТ, т.е. можно вводить добавку воздуха вместе с впрыском топлива.

Ранний ввод присадки воздуха (за $15...20^\circ$ п.к.в. до ВМТ) приводит к положительному изменению η_i , а более поздний – к отрицательному.

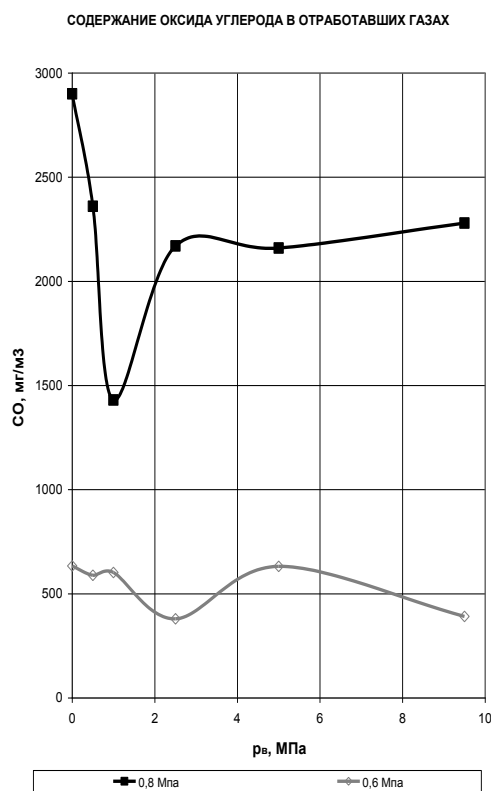


Рисунок 4 - Зависимость содержания оксида углерода в отработавших газах от давления воздуха в системе при работе двигателя на режимах $p_i = 0,8$ и $0,6$ МПа

Результаты исследования показали следующее.

С ростом концентрации присадки воздуха в смеси увеличивается объем впрыскиваемой смеси из-за меньшей ее плотности, т.е. при неизменном диаметре плунжера необходимо увеличивать его полезный ход. Продолжительность впрыска $\varphi_{впр}$ увеличивается на $13,5$ град. (при $\varepsilon \approx 10\%$). Из-за большей сжимаемости смеси начало подачи топлива $\Delta\varphi_{не}$ смещается до $5,5$ град. в сторону запаздывания впрыска, что необходимо учитывать при регулировке топливной аппаратуры. Максимальное и среднее давления впрыска сначала растут, а при большой концентрации воздуха начинают падать. Массовые скорости подачи смеси уменьшаются как максимальная, так и средняя во всем диапазоне изменения концентрации добавки воздуха. Относительная объемная доля топлива в смеси снижается.

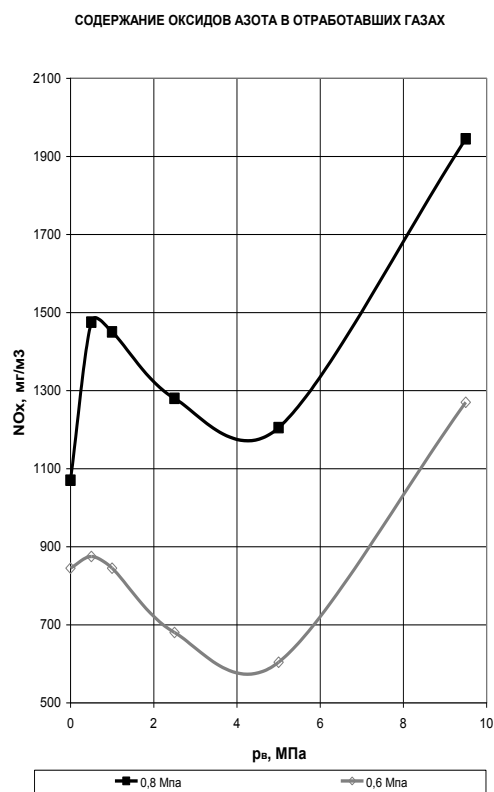


Рисунок 5 - Зависимость содержания оксидов азота в отработавших газах от давления воздуха в системе при работе двигателя на режимах $p_i = 0,8$ и $0,6$ МПа

Дополнительное диспергирование топливной струи присадкой газа приводит к уменьшению массы центральной зоны факела, разрушению «сердцевины», содержащей более крупные капли, движущиеся с высоки-

ми скоростями, и увеличению второй, периферийной зоны, состоящей из более мелких капель, имеющих меньшие скорости. Фронтальная переобогащенная зона уменьшится по причине снижения скорости и движущейся массы «сердцевины», подпитывающей ее.

Предполагается, что в результате одно-временного увеличения продолжительности впрыскивания и объема топливного факела, уменьшения массы частиц топлива в переобогащенной центральной части, движущихся с высокими скоростями, подпитывающих фронтальную часть факела, имеет место прямо противоположное воздействие этих факторов на индикаторный КПД цикла, отсюда вероятно наличие максимального значения индикаторного КПД при оптимальной концентрации присадки в топливе.

На начальном этапе определялось влияние концентрации присадки на параметры рабочего процесса и оптимальная ее величина. Получено оптимальное значение концентрации воздуха в топливе $\approx 3\%$ в широком диапазоне работы двигателя из условия максимальной экономичности. Далее были определены оптимальные регулировки по углу начала впрыска.

Исследования показали, что присадка воздуха в топливо при различном давлении для режимов работы с частотой вращения вала $n = 1750 \text{ мин}^{-1}$ и нагрузкой $P = 0,4 \dots 0,85 \text{ МПа}$ приводит к увеличению индикаторного КПД в области средних и максимальных нагрузок до 7% (рисунки 2 и 3). Однако при режимах близких к холостому ходу при совместной подаче топлива и воздуха наблюдается некоторое ухудшение индикаторного КПД. Аналогично изменяется удельный индикаторный расход топлива – в области средних и максимальных нагрузок улучшается до 7%, при малых нагрузках ухудшается (рисунок 4).

Так как при подаче топливо-воздушной смеси интенсифицируются процессы смесеобразования и сгорания, т.е. процесс сгорания происходит быстрее и ближе к ВМТ, наблюдается увеличение окислов азота вследствие большей температуры цикла в среднем на 10...20 %, однако при этом уменьшаются выбросы твердых частиц с ОГ на 30...60 % и окиси углерода CO в 2 раза (рисунки 5 и 6).

При подаче воздуха в магистраль высокого давления увеличивается динамика цикла, выражающаяся в росте «жесткости» процесса и максимального давления цикла из-за большего количества топлива, выгоревшего в первой фазе. Максимальная температура цикла становится ниже, как следствие

уменьшения цикловой подачи топлива, обеднения смеси и снижения теплоты ее сгорания.

Анализом индикаторного КПД выявлено, что применение присадки воздуха к топливу приводит к сокращению продолжительности сгорания, увеличению его полноты, уменьшению конвективного и радиационного теплообмена. Наиболее существенно уменьшается несвоевременность сгорания вследствие снижения сажевыделения и несвоевременности выгорания сажи в цилиндре, что в значительной мере предопределяет рост индикаторного КПД.

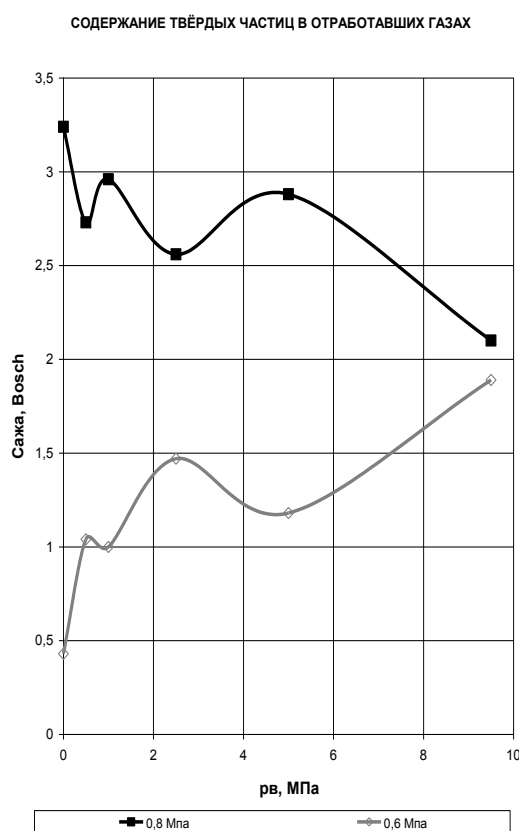


Рисунок 6 - Зависимость содержания твердых частиц в отработавших газах от давления воздуха в системе при работе двигателя на режимах $p_i = 0,8$ и $0,6 \text{ МПа}$

Сравнивая показатели рабочего процесса и токсичности при различных давлениях подачи воздуха, можно заметить, что наиболее оптимальное значение давления воздуха составляет 1,0 МПа (10 кгс/см^2). При данном давлении индикаторный КПД цикла на номинальном режиме имеет максимальный КПД, а показатели токсичности (содержание окиси

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИСАДКИ ВОЗДУХА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАПСОВОГО МАСЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ

углерода и сажи в отработавших газах) - минимальное значение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- при переводе дизельного двигателя на рапсовое масло, используемое в качестве топлива, одним из мероприятий, позволяющих улучшить мощностные, экономические и экологические характеристики является подача воздуха через линию высокого давления;
- применение присадки воздуха к топливу приводит к сокращению продолжительности сгорания, увеличению его полноты, уменьшению конвективного и радиационного теплообмена;
- определены оптимальные значения концентрации добавки воздуха к топливу, угла опережения подачи топлива;
- применение совместной подачи топливо-воздушной смеси позволяет уменьшить удельный индикаторный расход топлива до 7% на номинальном режиме; уменьшить выбросы сажи с отработавшими газами до 60%, окиси углерода – в 2 раза, при этом несколько возрастают выбросы окислов азота (на 10 – 20%);
- выявлено оптимальное значение давления воздуха в разработанной системе равное 1,0 МПа;
- к дополнительным преимуществам следует отнести, что автомобили и тракторы с системой пневматического привода имеют

рабочее давление 0,8 – 1,0 МПа, поэтому в случае переоборудования двигателей на таких объектах не нужно дополнительный монтаж компрессора и баллонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С.1023120 (СССР). Способ впрыска топлива в дизель / Алтайский политехн.институт: Авт.изобрет. Дудкин В.И., Матиевский Д.Д. - Заявл. 02.07.80, №2948578/25-06, опубл.в Б.И.1983,№ 22.
2. А.С. 211516 (ЧССР). Устройство для аэрации топлива в трубопроводах высокого давления. - Заявл. 15.03.79 № PV1724-79; Опубл. 15.02.83 (РЖ 1984 6.39.299П).
5. Мазинг М.В., Анникеев А.Ф. Исследование дизельной топливopодающей аппаратуры "Камминс". - Тр. НАМИ, М., 1966, вып. 88, с. 51-74.
6. Пат. 4376423 (США). Система для растворения газов в топливе. - Заявл. 08.06.81, № 271363, опубл. 15.03.83 (РЖ 1985 3.39.282П).
7. Пат. 4406404 (США). Форсунка с пневматическим распыливанием. -Заявл. 4.06.81. № 270635, опубл. 27.09.83. Приор. 12.06.80 № 55-78341 Япония (РЖ 1984 9.10.39).
8. Пат. 4394963 (США). Насос-форсунка для топливовоздушной смеси. - Заявл. 03.09.81, № 299129, опубл. 26.07.83 (РЖ 1984 6.39.322П).

Кулманакoв С.П., к.т.н., доц..

Шашев А.В., к.т.н.,

Свистула А.Е., д.т.н., проф.,

Матиевский Г.Д.,

Кулманакoв С.С.,

АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул,

тел. (8385)260516, e-mail: spk_ice@mail.ru

*Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы (ФЦП)
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы*