

На правах рукописи

Шашев Александр Валентинович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ
С ОБЪЕМНО-ПЛЕНОЧНЫМ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕМ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА
РАПСОВОГО МАСЛА**

05.04.02 – тепловые двигатели

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Барнаул – 2007

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении
высшего профессионального образования
«Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова (АлтГТУ)»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Кулманаков Сергей Павлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Юр Геннадий Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
Пыжанкин Геннадий Викторович

Ведущая организация: ОАО «ПО АМЗ», г. Барнаул

Защита состоится «13» ноября 2007 г. в 15-00 час на заседании
диссертационного совета Д 212.004.03, действующего при Алтайском
государственном техническом университете им. И. И. Ползунова по
адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46 (тел/факс (3852) 260-516;
E-mail: D21200403@mail.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского
государственного технического университета им. И. И. Ползунова.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью Вашего учреждения,
просим направлять в двух экземплярах по указанному адресу на имя
ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан «12» октября 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

А. Е. Свистула

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы. Двигатели внутреннего сгорания (ДВС), на сегодняшний день, являются основными потребителями топлив нефтяного происхождения. По причине постоянного увеличения численности ДВС и снижения количества вновь открываемых месторождений нефти обостряется проблема энергетического кризиса. Кроме того, продукты сгорания ДВС усугубляют экологическую ситуацию. Исходя из этого, актуальной является задача поиска и реализации методов получения и использования топлив, альтернативных нефтяному, с целью решения энергетической и экологической проблем. Одним из перспективных направлений в решении этих задач является применение топлив на основе растительных масел. Для стран с умеренным климатом, исходя из возможности выращивания, урожайности, содержания масла в семенах, возможным, и, в тоже время, наиболее рентабельным признано производство топлива на основе рапсового масла.

Для России исследования в этой области являются также актуальными, несмотря на наличие собственных месторождений нефти. Актуальность данных исследований обусловлена следующим: **во-первых**, исчерпаемостью нефтяных запасов, **во-вторых**, заинтересованностью сельских хозяйств и сельскохозяйственных регионов в вопросах снижения энергетической зависимости от поставщиков нефтепродуктов, **в-третьих**, параллельно с решением энергетической и экологической задач решается задача занятости населения, через организацию дополнительных рабочих мест в процессе производства топлива из рапсового масла и **в-четвертых**, чистое рапсовое масло имеет существенно меньшую себестоимость по сравнению с традиционным нефтяным топливом.

Цель работы заключается в разработке конструктивных и регулировочных мероприятий, обеспечивающих эффективное использование чистого рапсового масла в качестве топлива для дизелей с объемно-пленочным смесеобразованием.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Выполнение анализа работ по использованию альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания.
2. Модернизация ранее созданного на кафедре ДВС АлтГТУ испытательного стенда.

3. Исследование, с применением оптического метода, различий в протекании процесса топливоподачи нефтяного дизтоплива и рапсового масла.
4. Сравнительный анализ рабочего процесса дизеля при его работе на нефтяном дизтопливе и чистом рапсовом масле на основании данных стендовых испытаний с индицированием.
5. Разработка и исследование эффективности мероприятий по оптимизации рабочего процесса дизеля на чистом рапсовом масле.

Объект исследований: двигатель УК-2 представляющий собой одноцилиндровый отсек двигателя серии Д-440 и Д-460 – дизелей размерностью 130/140 производства ОАО «ПО АМЗ». Это четырехтактные быстроходные дизельные двигатели с объемно-плёночным смесеобразованием, с камерой сгорания выполненной в поршне (типа ЯМЗ), жидкостного охлаждения.

Предмет исследований: рабочий процесс дизеля с применением в качестве топлива рапсового масла.

Методы исследований. Работа базируется на экспериментальных и расчетно-экспериментальных методах исследования с использованием традиционных и специальных приборов и оборудования.

Научная новизна работы заключается в полученных результатах исследования работы дизеля на чистом рапсовом масле по параметрам рабочего процесса, тепловыделения, топливоподачи и токсичности отработавших газов, а также в разработанных мероприятиях по оптимизации рабочего процесса.

Практическая ценность работы. Установлены количественные и качественные характеристики показателей дизеля с объемно-плёночным смесеобразованием при использовании рапсового масла в качестве топлива. Произведено их сопоставление с характеристиками работы дизеля на стандартном нефтяном дизтопливе. Проведено исследование топливоподачи оптическим и расчетным методами, на основании этого разработаны рекомендации по расчету и предложена специальная, для рапсового масла, конструкция распылителя. Разработаны мероприятия, обеспечивающие улучшение технико-экономических показателей двигателя при использовании в качестве топлива рапсового масла.

Реализация результатов работы. Данные исследования использованы: при выполнении программы министерства образования и науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы» по проекту «Разработка способов применения рапсового масла в качестве моторного топлива для ДВС» № гос.регистрации 0120.0502609; при выполнении работ по государственному контракту № 4346р/6753 «Оптимизация конструкции и параметров топливной системы двигателя, работающего на рапсовом масле»; при выполнении работ по договорам № 55-06 «Адаптация дизельных двигателей к топливу на основе рапсового масла» и № 102-06 «Применение смесей рапсового масла и дизельного топлива», заключенными с Администрацией Алтайского края; при выполнении работ по хоздоговору с ОАО АЗПИ «Испытание распылителей 6А1 и 6А1Р при работе на дизельном топливе и рапсовом масле»; студентами и аспирантами кафедры ДВС АлтГТУ при выполнении дипломных проектов и в работах над диссертациями.

Апробация работы. Основные результаты данной работы были доложены или представлены: на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Двигатели внутреннего сгорания – современные проблемы, перспективы развития», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, 2006; на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы теории и практики современного двигателестроения», ЮУрГУ, Челябинск, 2006; на 64-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического университета им. И.И. Ползунова; на всероссийской научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии технического сервиса», Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, 2007; на Международной научно-технической конференции «Двигатель – 2007» - посвященной 100-летию специальности «Двигатели внутреннего сгорания» МГТУ им. Н. Э. Баумана; на 10-й международной конференции «TRANSPORT MEANS 2006», Технологический университет, Каунас, Литва, 2006.

Публикации. Результаты данной диссертации опубликованы в 7 печатных работах, в т.ч. одна статья в издании, рекомендованном ВАК.

Диссертационная работа имеет объем 135 страниц машинописного текста, 35 рисунков и 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Введение посвящено обоснованию актуальности исследований в области применения альтернативных видов топлива, особенно из возобновляемых биологических ресурсов, в частности рапсового масла.

Первая глава посвящена краткому анализу достоинств и недостатков различных направлений в области альтернативной энергетики и обоснованию актуальности использования топлив на основе рапсового масла.

Рассмотрены и проанализированы различные возможности применения рапсового масла в качестве топлива: использование в чистом виде или смесях с дизтопливом и переработка масла в эфиры. Отмечено, что в фермерских хозяйствах предпочтительным является применение чистого рапсового масла, как имеющего меньшую себестоимость и не требующего организации специального производства топлива.

Обоснована целесообразность применения рапсового масла, в качестве топлива, для России, особенно ее аграрных регионов не только в условиях истощения мировых запасов нефти, но также и в сложившейся ситуации регулирования цен на нефтепродукты на внутреннем рынке, когда производители сельхозпродукции испытывают большие затруднения из-за высоких цен на горюче-смазочные материалы.

Отмечено, что Алтайский край является тем регионом, в экономике которого продукция сельского хозяйства составляет существенную долю. И, как известно, эти сельские хозяйства нашего региона испытывают подчас серьезные трудности, связанные с высокой ценой на топливо. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование в качестве топлива рапсового масла.

В результате выполненного обзора сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальной установки, программы и методики проведения эксперимента, оценке погрешности измерений и обработке результатов измерений.

Нагрузочный стенд, входящий в состав экспериментальной установки позволяет производить запуск двигателя и его торможение с изменением режима работы в широком диапазоне нагрузки и частоты

вращения коленчатого вала двигателя. Стенд, рисунок 1, оснащен комплексом контрольно-измерительной техники, позволяющей регистрировать все необходимые параметры рабочего процесса для дальнейшего расчета показателей работы.

В основу методики исследований был положен сравнительный метод. Экспериментальные исследования проводились в три этапа. На **первом этапе** проводились сравнительные исследования впрыска стандартного топлива и рапсового масла методом скоростной оптической регистрации развития факела. На **втором** – снимались регулировочные, нагрузочные и скоростные характеристики на обоих видах топлива. Оценка режима работы двигателя осуществлялась по параметрам расхода топлива, дымности и токсичности отработавших газов, параметрам индикаторной диаграммы. На **третьем этапе** осуществлен поиск мероприятий по оптимизации рабочего процесса дизеля на чистом рапсовом масле.

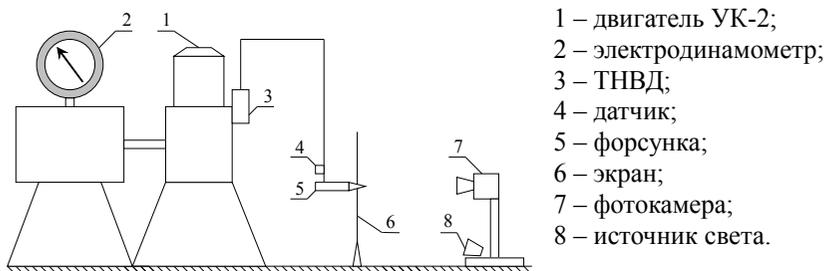


Рисунок 1. Схема испытательной установки.

Обработка индикаторных диаграмм производилась по методике ЦНИДИ с анализом индикаторного КПД и составляющих неиспользования теплоты в цикле по методике Матиевского Д.Д.

Полученные в результате расчета данные использованы для сравнительного анализа рабочего процесса дизеля на стандартном дизельном топливе и на рапсовом масле. Также, было изучено влияние различных конструктивных, эксплуатационных и регулировочных факторов на показатели рабочего процесса и токсичность дизеля при его работе на чистом рапсовом масле. Для оценки влияния рассматривались: индикаторный КПД, удельный индикаторный расход топлива, состав отработавших газов, давление топлива в трубопроводе высокого давления, изменение давления внутри цилиндра двигателя и

скорость его нарастания, характеристики тепловыделения и составляющие потери тепла в цикле, скорость тепловыделения.

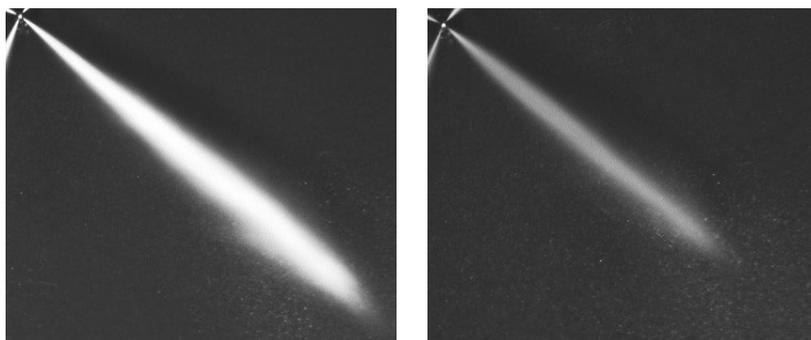
В выводах по второй главе указано, что лабораторное оборудование и методика обработки результатов исследований удовлетворяют требования для решения задач данной диссертационной работы.

Третья глава посвящена сравнительному анализу физико-химических свойств рапсового масла и дизельного топлива нефтяного происхождения, а также исследованию и сравнительной оценке рабочих процессов дизеля на этих двух видах топлива.

С применением экспериментальных и расчетных методов были получены основные показатели рапсового масла, как топлива.

Для исследования параметров впрыска топлива оптическим методом использовалась система VS-СТТ-285/Х/Е-2001/М, позволяющая производить съемку быстропротекающих импульсных процессов в атмосфере. Система включает в себя цифровую камеру, контроллер ввода изображений, аналого-цифровой преобразователь, программно-управляемый усилитель.

Полученные в результате эксперимента снимки подвергались осреднению путем послойного наложения десяти снимков, рисунок 2. Затем определялись границы топливного факела, и производился расчет изменения его геометрических параметров: длины, угла раскрытия и скорости распространения фронтальной части, рисунок 3.

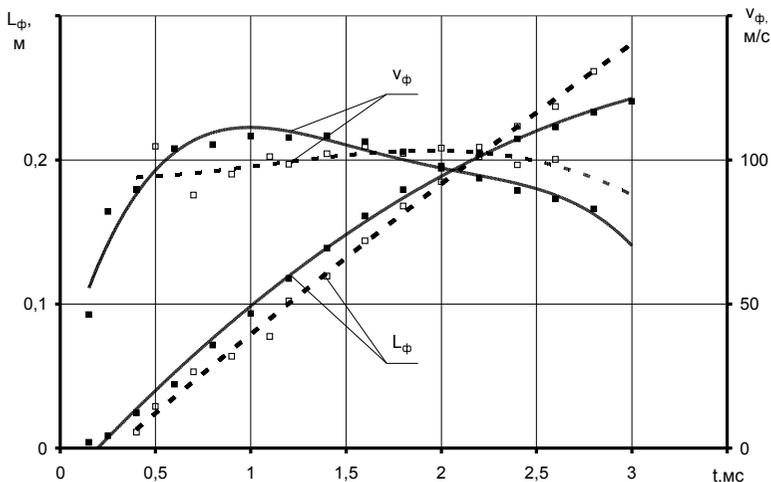


А.

Б.

А – дизтопливо, Б – рапсовое масло

Рисунок 2. Пример регистрации топливного факела на фазе активного впрыска, 1600 мкс.



РМ — , ДТ —

Рисунок 3. Изменение длины факела и скорости фронта факела.

В ходе данного исследования получены следующие результаты:

- при равных условиях (положение рейки ТНВД, скоростной режим двигателя, 1750 мин^{-1} , температура топлива и т.д.) впрыск рапсового масла начинается позже на 3-3,5 град. п.к.в., чем впрыск дизельного топлива, несмотря на то, что игла распылителя отрывается от седла на 1,5-2 град. раньше. Очевидно, истечение рапсового масла из сопел форсунки начинается при более высоких значениях суммарного проходного сечения распылителя, определяемого в начальные периоды впрыска подъемом иглы форсунки;
- структура факела рапсового масла обладает более высокой неравномерностью в распределении концентрации капель топлива в поперечном сечении факела, средний диаметр частиц топлива, составляющих факел больше, а угол раскрытия факела на рапсовом масле на 40-100% (в зависимости от сравниваемых сопел) меньше, чем на дизтопливе;
- факел рапсового масла обладает большей дальностью, что является следствием укрупнения капель топлива по причине более высоких значений вязкости и поверхностного

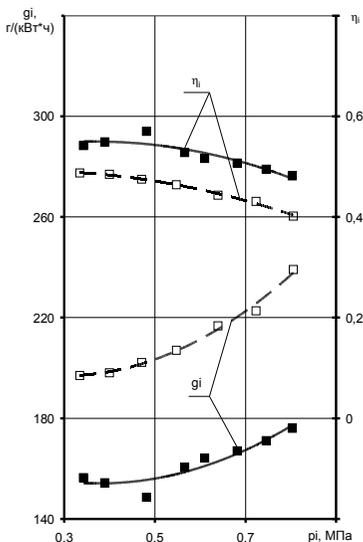
натяжения, а также, более высокой плотности рапсового масла по сравнению с дизтопливом;

- на основе регрессионного анализа, получены эмпирические зависимости для расчета параметров топливного факела при использовании чистого рапсового масла (для $n=1750 \text{ мин}^{-1}$, t в мс):

$$v_{\phi} = -4,23 t^3 + 10,7 t^2 - 5,51 t + 94,3, \text{ м/с};$$

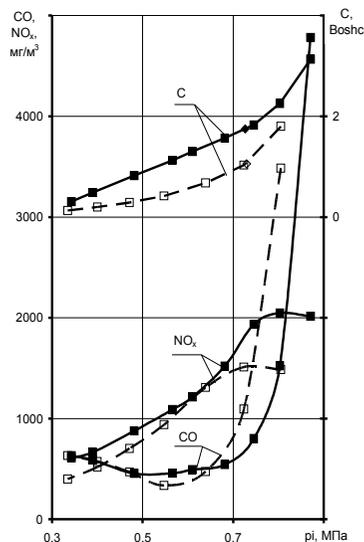
$$L_{\phi} = -0,00417 t^2 + 0,112 t - 0,032, \text{ м}.$$

На основании полученных результатов сделан вывод о целесообразности использования для рапсового масла распылителей с большим количеством сопловых отверстий, для обеспечения мелкости и более высокой равномерности распыливания. Произведен расчет, на основании которого предложен специальный распылитель для последующих испытаний (глава 4).



РМ — , ДТ —
Рисунок 4. Показатели

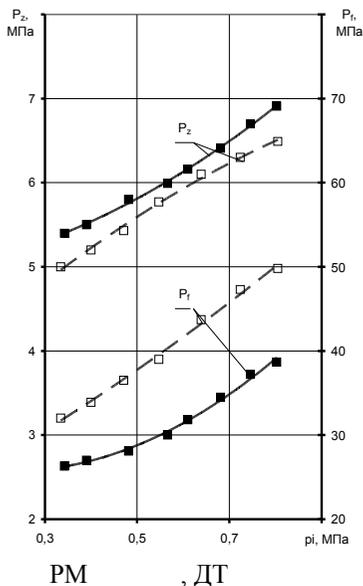
экономичности.



РМ — , ДТ —
Рисунок 5. Состав

отработавших газов.

По данным стендовых испытаний, частично представленных на рисунках 4-6, установлено, что при переводе дизеля на рапсовое масло, без каких-либо регулировочных и конструктивных изменений, наблюдается:



РМ , ДТ
Рисунок 6. Максимальное давление газов в цилиндре и давления топлива на выходе ТНВД.

существенного изменения не обнаружено;

5. уменьшение содержания сажи в отработавших газах на 20% на номинальном режиме и до 70% на режиме средних и малых нагрузок;

6. уменьшение максимального давления газов внутри цилиндра до 8% и уменьшение максимальной температуры цикла при незначительном увеличении температуры отработавших газов до 7%.

В выводах по третьей главе дано объяснение полученным результатам и различиям в процессах топливopодачи, смесепобразования и сгорания, вызванных специфическими особенностями моторных свойств чистого рапсового масла в сравнении с традиционным дизтопливом.

1. увеличение максимального давления подачи топлива до 20% на номинальном режиме;

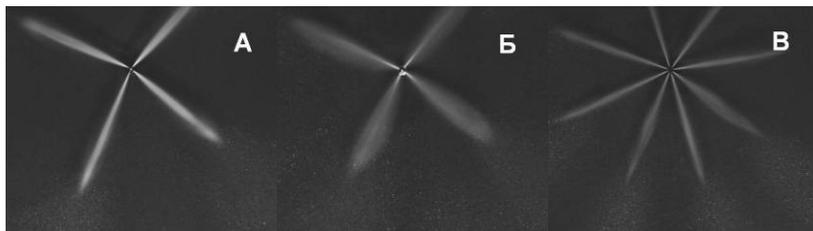
2. ухудшение экономичности: уменьшение индикаторного КПД на 5-8% и увеличение удельного индикаторного расхода топлива на 40 – 60 г/(кВт·ч), причем более высокие значения характерны для режимов работы двигателя; близких к номинальному.

3. уменьшение выбросов оксидов азота на номинальном режиме до 27%, на режиме средних и малых нагрузок существенного изменения не выявлено;

4. увеличение выбросов оксида углерода до 100% на номинальном режиме, на режиме средних и малых нагрузок

Четвертая глава посвящена разработке на основании исследований, описанных в третьей главе, мероприятий по оптимизации рабочего процесса дизеля на чистом рапсовом масле с целью улучшения его технико-экономических показателей. Для этих целей было исследовано влияние на рабочий процесс: угла опережения впрыска топлива; температуры топлива; давления начала впрыска топлива; эффективного проходного сечения распылителя; конструкции распылителя (проводились сравнительные испытания двигателя с использованием штатного распылителя 6A1, специального распылителя 6A1P, производства АЗПИ и экспериментального распылителя).

Исследование влияния угла опережения впрыска топлива показало, что при переходе на рапсовое масло необходимо увеличить опережение топливоподачи на 2-3 град. п.к.в. Оптимальным, с точки зрения экономичности, является угол 33 град. п.к.в. до в.м.т., при установке в статике. Концентрация СО имеет наименьшее значение при угле 22 – 30° до в.м.т., концентрация NO_x постоянно растет с увеличением угла.



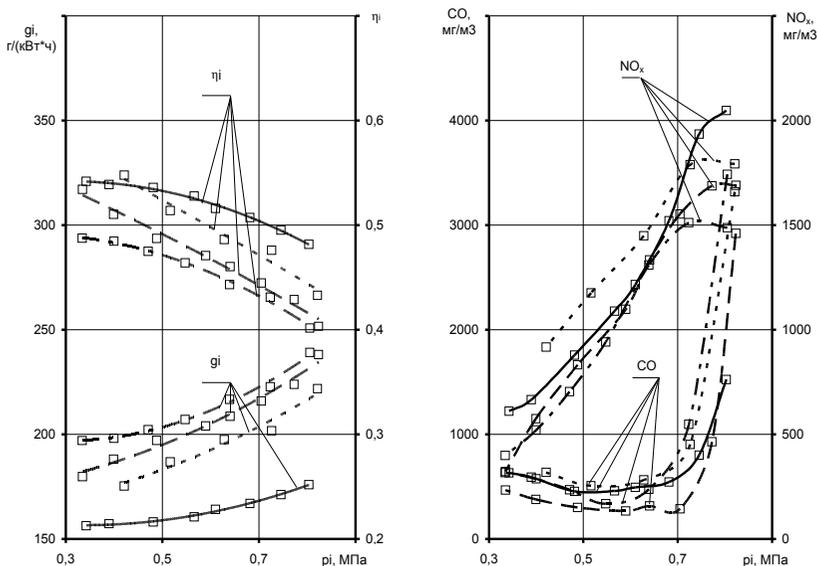
А – штатный распылитель 6A1;
Б – специальный распылитель 6A1P;
В – экспериментальный распылитель.

Рисунок 7. Фрагменты регистрации впрыска рапсового масла в атмосферу распылителями трех типов на режиме 1750 мин⁻¹.

Для исследования влияния температуры топлива на показатели двигателя снимались регулировочные характеристики по температуре топлива, а также нагрузочные и скоростные характеристики без подогрева топлива и с подогревом до температуры 90° С. Установлено: с увеличением температуры топлива, ухудшаются показатели экономичности, концентрация СО остается без изменения, а NO_x незначительно уменьшается. Как показывает анализ индикаторных

диаграмм и данных по процессу топливоподачи, с увеличением температуры топлива увеличивается продолжительность ввода тепла в цикл. Исходя из анализа, следует считать оптимальной температуру рапсового масла на входе в ТНВД равной 40-45 °С.

Влияние давления начала впрыска топлива на показатели рабочего процесса исследовалось путем снятия нагрузочных характеристик при регулировках форсунки в диапазоне 15-22,5 МПа. Исследования показали, что при переходе на рапсовое масло желательно увеличить давление начала топливоподачи (для существующей системы до 20 МПа), более высокое давление желательно, но его достижение возможно лишь при использовании других систем топливоподачи.



штатный распылитель 6A1 на дизтопливе —————
 штатный распылитель 6A1 на рапсовом масле - - - - -
 специальный распылитель 6A1P на рапсовом масле - · - · -
 экспериментальный распылитель на рапсовом масле · · · · ·

Рисунок 8. Показатели экономичности и токсичности при работе двигателя на распылителях разного типа.

Из исследования влияния эффективного проходного сечения (μ_f)

сопловых отверстий распылителя на показатели работы двигателя установлено, что распылители с увеличенным эффективным проходным сечением (0,313 против 0,237 мм²) обеспечивают лучшие показатели экономичности и токсичности, из чего следует вывод о целесообразности увеличения данного показателя при переводе двигателя с дизтоплива на рапсовое масло.

Заключительным этапом исследования было сравнительные испытания двигателя с использованием штатного распылителя и двух видов специальных распылителей, рисунок 7. Исходя из результатов данного исследования, представленных на рисунке 8, видно, что применение распылителей специальной конструкции является оправданным, так как с их применением улучшились показатели экономичности рабочего процесса двигателя, состав отработавших газов изменился незначительно.

В выводах по четвёртой главе приведена количественная и качественная оценка мероприятий по оптимизации рабочего процесса дизеля на рапсовом масле, приведены установленные эмпирические зависимости между соответствующими регулировочными параметрами и показателями работы двигателя.

Заключение. По работе сделаны основные выводы:

1. На основании проведенного обзора, для Алтайского края, как сельскохозяйственного региона, считать целесообразным проведение исследований в области применения чистого рапсового масла в качестве топлива для дизелей семейств Д-440, Д-460, ввиду их широкой распространенности на сельхозмашинах.

2. Модернизирован испытательный стенд для работы на рапсовом масле и применения оптических методов исследования процесса топливоподачи.

3. На основании оптического метода исследования процесса топливоподачи установлено, что при переходе с дизтоплива на чистое рапсовое масло наблюдается следующее: начало топливоподачи смещается в сторону более позднего угла на 3-3,5 град. п.к.в., увеличивается продолжительность топливоподачи на 2-3 град. п.к.в., ухудшается равномерность структуры топливного факела, уменьшается угол раскрытия факела на 40-80%, увеличивается его дальнобойность.

4. По результатам обработки сравнительных стендовых испытаний, установлено, что с переводом дизеля на рапсовое масло наблюдается: увеличение максимального давления топливоподачи до 20%, уменьшение максимального давления газов внутри цилиндра на

8%, уменьшение жесткости процесса сгорания на 4-5% (максимальное значение 0,6 МПа/град. п.к.в.), увеличение температуры отработавших газов на 5-7%, уменьшение индикаторного КПД на 5-8%, увеличение удельного индикаторного расхода топлива на 40–60 г/(кВт·ч), уменьшение содержания в отработавших газах оксидов азота более чем на 20% и сажи на 20-70%, увеличение выбросов оксида углерода на номинальном режиме до 100%.

5. В качестве мероприятий по оптимизации были предложены и исследованы следующие меры: изменение угла опережения впрыска топлива, повышение температуры топлива, увеличение давления начала впрыска топлива, увеличение эффективного проходного сечения распылителя и изменение конструкции распылителя. На основании проведенных исследований установлено, что при переходе на рапсовое масло необходимо: увеличить угол опережения топливоподачи на 2-3°, обеспечить температуру рапсового масла в системе питания дизеля равной 40-45 °С, увеличить давление начала топливоподачи (для существующей системы до 20 МПа), применить распылители с увеличенным на 10% эффективным проходным сечением и распылители специальной конструкции. Проведение данных мероприятий дало возможность сократить разрыв в показателях экономичности работы двигателя на дизтопливе и рапсовом масле с 8 до 3% - по индикаторному КПД и с 60 до 45 г/кВт·ч по удельному индикаторному расходу топлива.

Основные положения диссертации отражены в работах:

статьи в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Шашев А.В. Применение в дизелях топлива на основе рапсового масла /Д.Д. Матиевский, С.П. Кулманаков, С.В. Лебедев, А.В. Шашев// Двигатели внутреннего сгорания – современные проблемы, перспективы развития: материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием /Ползуновский вестник. – 2006. №4. с. 118 – 127.

статьи, отражающие основное содержание работы:

2. Шашев А.В. Рапсовое масло – альтернатива традиционному топливу для двигателей внутреннего сгорания /Шашев А.В., Кулманаков С.П.// Сборник статей 64-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического университета им. И.И. Ползунова. – Барнаул 2006. с. 74-75.

3. Шашев А.В. Исследовательская установка для испытаний альтернативных топлив /Шашев А.В., Кулманаков С.П.// Сборник статей 64-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического университета им. И.И. Ползунова. – Барнаул 2006. с. 75-76.
4. Шашев А.В. Об использовании топлив растительного происхождения /Д.Д. Матиевский, С.П. Кулманаков, С.В. Лебедев, А.В. Шашев// Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей ПАТ. – Барнаул 2005. с. 137 – 141.
5. Шашев А.В. Начальный этап испытаний двигателя 1Ч13/14 при его работе на рапсовом масле и этиловом эфире рапсового масла /Д.Д. Матиевский, С.П. Кулманаков, С.В. Лебедев, А.В. Шашев// Актуальные проблемы теории и практики современного двигателестроения: труды международной научно-практической конференции. – Челябинск, 2006. с. 170 – 176.
6. Шашев А.В. Рапсовое масло, как альтернатива традиционному топливу для двигателей внутреннего сгорания / С.П. Кулманаков, А.В. Шашев, Е.А. Герман// Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей ПАТ. – Барнаул 2004. с. 109 – 113.
7. Shashev A. The change of operational characteristics of diesel engines running on RME Biodiesel. Parameters of thrust and fuel economy /S. Lebedevas, A. Vaicekauskas, G. Lebedeva, S. Kulmanakov, A. Shashev// Proceedings of 10th International Conference. Transport Means. 2006. p 229 – 233.