

УДК 621.436

С.П. КУЛМАНАКОВ

АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ 1СН 13/14 С СИСТЕМОЙ ТОПЛИВОПОДАЧИ «COMMON RAIL» ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА

Приведен аналитический обзор экспериментальных исследований рабочего процесса дизельного двигателя, оснащенного топливной аппаратурой Common Rail и использующего топлива на основе рапсового масла. В качестве топлив использовались рапсовое масло и этиловый эфир рапсового масла. Представлены экологические и экономические показатели при увеличении давления в гидроаккумуляторе. Приведены особенности рабочего процесса дизеля при работе на биотопливах. Предлагаются возможные пути оптимизации рабочего процесса дизеля при работе на биотопливах на основе рапсового масла.

**Ключевые слова:** сгорание, биотопливо, рабочий процесс, экология, рапсовое масло, эфир рапсового масла, дизель.

### Введение

Темпы роста численности автотранспорта к концу двадцатого столетия приобрели лавинообразный характер, что, в совокупности с ограниченными запасами нефти в недрах земли, привело к проблеме энергетического кризиса, начавшегося в конце семидесятых годов двадцатого века.

Для решения этой проблемы в последние годы тема производства моторного топлива из возобновляемых источников, в первую очередь из растительного, приобрела популярность, и актуальность ее больше не вызывает сомнения. Наиболее оптимальным источником топлива для дизельных двигателей в условиях стран СНГ является рапсовое масло.

В настоящее время в России и за рубежом рассматриваются практические аспекты использования в дизельных двигателях биотоплив из растительного сырья следующих видов:

- натурального рапсового масла;
- биотоплива из смеси растительных масел и дизельного топлива в различных пропорциях;
- применение эфиров рапсового масла.

Развитие дизелестроения в последнее время характеризуется переходом на аккумуляторные системы топливоподачи, особенно в сочетании с электронным управлением процессом впрыскивания, позволяющие улучшить экономические и экологические показатели.

На кафедре ДВС АлтГТУ им. И. И. Ползунова проводится исследование рабочего процесса дизеля на биотопливах. В продолжении проведено пере-

оборудование одноцилиндровой установки на систему Common Rail отечественного производства и испытаны различные виды биотоплив. Результаты этого исследования рассмотрены ниже.

### 1. Проблемы применения биотоплив и направление их решения.

Основным препятствием на пути применения биотоплив является отличие их физико-химических свойств от нефтяных: повышенная плотность и вязкость, снижение цетанового числа (для чистого рапсового масла и его смесей с дизтопливом), высокая температура кипения.

Данные обстоятельства приводят к ухудшению смесеобразования и последующего воспламенения и сгорания.

Соответственно, наблюдается рост расхода топлива и увеличение вредных выбросов.

Для улучшения экономических и экологических показателей ДВС при работе на биотопливах (рапсовое масло РМ, метиловый эфир рапсового масла МЭРМ) необходимо:

- создать необходимые условия для обеспечения оптимальных параметров впрыска топлива и для осуществления эффективного смесеобразования;
- организовать эффективный процесс сгорания.

На основе анализа необходимо оптимизацию процесса сгорания следует проводить в следующих направлениях:

- сокращения продолжительности ввода тепла в цикл;

обеспечения оптимального момента начала впрыска топлива;

достижение более высокой мелкости распыливания топлива;

достижение более высокой равномерности распределения концентрации частиц топлива в поперечном сечении факела топлива и по объему камеры сгорания двигателя;

снижение дальности топливного факела.

Наиболее эффективный способ обеспечить данные условия – применение современных систем топливоподачи с высоким давлением впрыска (до 200 МПа) с электронным управлением, способных обеспечить гибкое регулирование во всем диапазоне мощностей и частот вращения необходимого закона топливоподачи.

Для проведения соответствующих исследований на кафедре ДВС АлтГТУ им. И.И. Ползунова был создан экспериментальный исследовательский комплекс на базе одноцилиндровой установки УК-2, размерностью S/D = 130/140. Применение автономного компрессора и подогрева подаваемого воздуха позволяло имитировать условия наддува. Установка была оснащена системой топливоподачи «Common Rail» отечественной разработки.

Гидравлическая часть системы «Common Rail» включает топливный насос высокого давления (ТНВД), гидравлический аккумулятор, электрогидравлическую форсунку и топливопроводы высокого давления производства ЗАО АЗПИ (г.Барнаул). Основу электрической части составляет блок управления M240 производства фирмы ООО АБИТ (г.С-Петербург). Установка оснащена необходимым измерительным и контрольным оборудованием, в том числе для проведения индицирования и газового анализа.

## 2. Исследование параметров рабочего процесса при использовании метилового эфира рапсового масла

В ходе проведения эксперимента и обработки получены данные, на основании которых сделан сравнительный анализ рабочего процесса двигателя с использованием двух видов топлива – дизельного топлива и эфира рапсового масла. Первый этап исследований предусматривал получение регулировочных характеристик по углу опережения впрыска.

Следующий этап предусматривал снятие нагрузочных характеристик на дизельном топливе и эфире рапсового масла.

Для обоих топлив характерно снижение индикаторного КПД с ростом нагрузки. Более низкий индикаторный КПД и меньшая теплота сгорания рапсового эфира предопределяет более высокий

удельный индикаторный расход топлива на 30–35 г/(кВт·ч) по всей линии нагрузки (рис. 1).

Увеличенное давление в системе CR позволяет уменьшить продолжительность подачи топлива на номинальном режиме, что приводит к сокращению продолжительности ввода теплоты и, соответственно, увеличению индикаторного КПД.

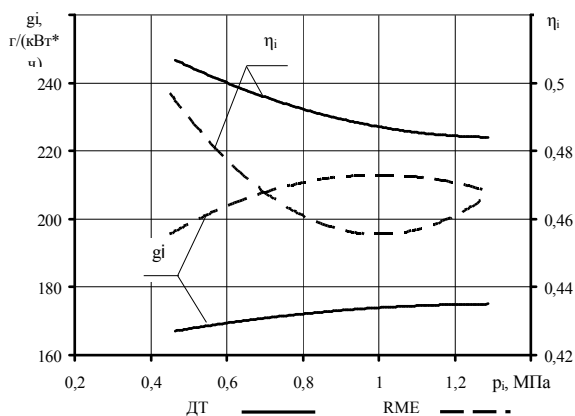


Рис. 1. Нагрузочная характеристика двигателя при работе на различных топливах с системой Common Rail; удельный индикаторный расход топлива и индикаторный КПД

Увеличение давления впрыска улучшает смесеобразование за счёт уменьшения диаметра капель, более равномерного распределения топлива и окислителя по объему камеры сгорания. Указанные факторы приводят к более быстрому и более качественному сгоранию, что предопределяет меньшую продолжительность ввода теплоты. Однако уменьшение продолжительности теплоты приводит к увеличению максимальной температуры цикла, как в локальных зонах, так и суммарно по всему объему камеры сгорания. Увеличение скорости и уменьшение продолжительности тепловыделения для системы Common Rail предопределяет повышенные выбросы окислов азота в 1,5 и 2 раза при малых и средних нагрузках по сравнению со штатной топливной системой.

Эфир рапсового масла имеет большее цетановое число и содержит в составе своей молекулы кислород. Эти оба фактора предопределяют меньшую задержку самовоспламенения и большую скорость сгорания, что влечёт за собой повышение максимальных температур цикла.

Механизм образования  $\text{NO}_x$  в цилиндре двигателя обуславливает прямую взаимосвязь эмиссии окислов азота с максимальной температурой цикла. Таким образом, переход с дизельного топлива на метиловый эфир рапсового масла сопровождается увеличением выбросов окислов азота (рис. 2).

Для топливной системы Common Rail значения выбросов CO имеют минимальные значения и почти не меняются от нагрузки. Использование эфира позволяет снизить содержание оксида углерода благодаря более полному окислению топлива за счёт содержащегося в молекуле большего количества кислорода.

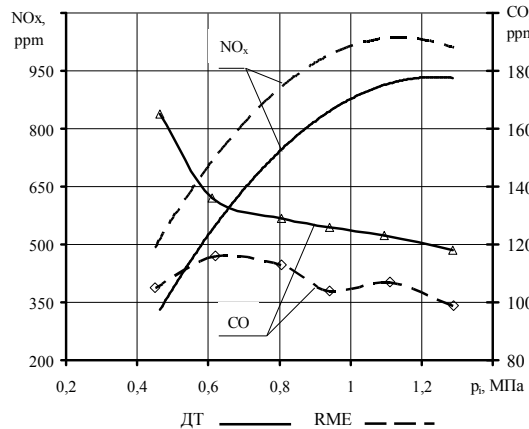


Рис. 2. Нагрузочная характеристика двигателя при работе на различных топливах с системой Common Rail. Концентрация окислов азота и углерода

Таким образом, использование эфира рапсового масла с применением системы Common Rail позволяет уменьшить количество выбросов продуктов неполного сгорания – окиси углерода. При этом вследствие процесса интенсификации процесса сгорания наблюдается возрастание концентрации окислов азота в обработавших газах.

### 3. Исследование параметров рабочего процесса при использовании рапсового масла

Еще одним направлением исследований является использование чистого рапсового масла. Первый этап предусматривал снятие регулировочных характеристик по углу опережения впрыска и давлению в топливном аккумуляторе. Следующий этап предусматривал снятие нагрузочных и скоростных характеристик.

По данным первого этапа исследований, оптимальный угол опережения впрыска одинаков, как для дизельного топлива, так и для рапсового масла.

С увеличением давления впрыска топлива растет дисперсность топливной струи, что позволяет улучшить экономические и экологические показатели ДВС. Для установления влияния давления впрыска на экологические и экономические показатели двигателя были проведены испытания двигателя при

различных давлениях топлива в аккумуляторе. Давление изменяли в диапазоне 50 – 180 МПа. Экономические показатели представлены на рис. 3.

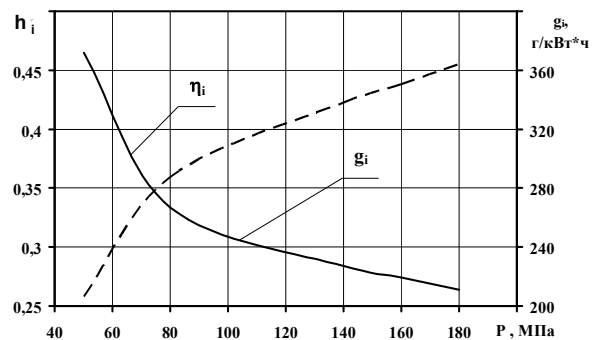


Рис. 3. Регулировочная характеристика по давлению топлива. Удельный индикаторный расход топлива и индикаторный КПД

Экономичность двигателя при возрастании давления улучшается во всем диапазоне изменения. Удельный индикаторный расход топлива при этом уменьшается с 372 до 211 г/кВт\*ч, а индикаторный КПД увеличивается с 0,26 до 0,45. При этом значение  $P_z$  увеличивается с 9,3 до 12,9 МПа.

Результаты исследований последующего этапа представлены на рис.4 и 5.

Для системы «Common Rail» вследствие уменьшения размера капель, более лучшего использования воздушного заряда наблюдается уменьшение периода задержки самовоспламенения на 1 – 2° п.к.в., при этом, в конце фазы задержки самовоспламенения происходит снижение температуры в цилиндре за счет более развитой площади теплообмена топливного факела.

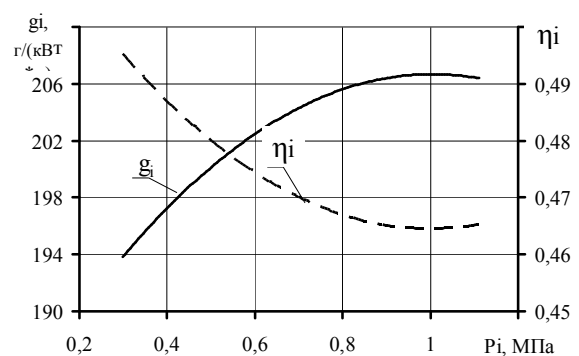


Рис. 4. Нагрузочная характеристика, параметры экономичности работы двигателя

Из представленных на рис.4 графиков видно, что рабочий процесс на рапсовом масле уступает по экономичности рабочему процессу на дизельном топливе (рис. 1). Сопоставляя графики изменения индикаторного КПД процессов видно, что при использовании рапсового масла, на 2 – 4% снижается

его значение по сравнению с работой на дизтопливе. Главная причина – организация тепловыделения в цикле. Процесс сгорания рапсового масла отличается большей продолжительностью. Это связано с высокой температурой кипения, повышенной вязкостью, более низким цетановым числом.

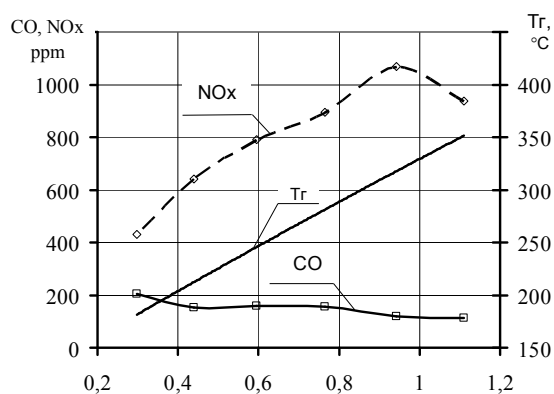


Рис. 5. Нагрузочная характеристика, экологические параметры работы двигателя

Разница по удельному индикаторному расходу топлива будет еще больше, с учетом теплоты сгорания топлива. Поэтому наблюдается еще большее отличие между рапсовым маслом и дизтопливом. Для дизельного топлива при изменении нагрузки удельный индикаторный расход топлива изменяется со 168 до 178 г/кВт\*ч, а для рапсового масла – со 194 до 208 г/кВт\*ч. Во всем диапазоне нагрузок ухудшение данного параметра составляет около 15%.

Для двигателей с системой «Common Rail» наблюдается низкое содержание твердых частиц (до 0,3 единиц Бош) и низкое содержание окиси углерода – до 200 ppm. Но, лучшее смесеобразование и более интенсивное сгорание увеличивают выбросы окислов азота до уровня 1100 ppm (рис. 5).

Для снижения содержания окислов азота в ОГ для двигателей, оснащенных системой Common Rail, необходимо проводить мероприятия снижающие содержание NOx: регулировку угла опережения впрыска; переход на более бедные смеси; применение дополнительных мероприятий по нейтрализации NOx в выпускной системе (установка каталитического нейтрализатора; впрыск мочевины).

## Заключение

При переходе на биотопливо для двигателей с системой Common Rail более сильно сказываются различия физико-химических свойств нефтяного дизтоплива и биотоплива. Поэтому при переводе

ДВС на биотопливо для системы Common Rail необходим дополнительный подбор регулировочных параметров для организации более качественного рабочего процесса.

Для биотоплив, как и для дизтоплива, при переходе на систему топливоподачи Common Rail характерно улучшение экономических показателей (до 2%), увеличение максимального давления сгорания (до 10%) и выбросов окислов азота (в 1,5 раза), по сравнению с работой на штатной топливной системе.

Основные мероприятия для улучшения параметров рабочего процесса при использовании биотоплив: оптимизация угла опережения впрыска топлива, увеличение давления в аккумуляторе, уменьшение эффективного проходного сечения сопел распылителя, подогрев рапсового масла.

При использовании системы Common Rail значительно снижаются выбросы твердых частиц, окиси углерода и углеводородов, однако вследствие интенсификации процесса сгорания происходит увеличение выбросов окислов азота, что требует применения специальных мероприятий для их снижения.

## Литература

1. Экспериментальный моторный комплекс с системой топливоподачи типа «Common Rail» для дизельных двигателей размерностью  $D/S=130/140$  / С.П. Кулманаков, А.В. Шашев, С.В. Яковлев, С.С. Кулманаков // Сборник научных трудов международной конференции Двигатель-2010, посвященной 180-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана; под редакцией Н.А. Иващенко, В.А. Вагнера, Л.В. Грехова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – С. 334-338.
2. Сравнительный анализ параметров рабочего процесса дизеля 1Ч 13/14 с системой топливоподающей аппаратурой / С.П. Кулманаков, А.В. Шашев, С.В. Яковлев, С.С. Кулманаков, О.В. Дробышев // Сборник научных трудов международной конференции Двигатель-2010, посвященной 180-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана; под редакцией Н.А. Иващенко, В.А. Вагнера, Л.В. Грехова – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – С. 338-341.
3. Кулманаков С.П. Улучшение показателей рабочего процесса дизельного двигателя с вихревой камерой сгорания / С.П. Кулманаков, В.А. Калинин, А.В. Шашев // Полуновский вестник. – 2010. – № 1. – С. 28-34.

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

*Поступила в редакцию 8.04.2011*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. кафедры информатики и специальной техники А.В. Еськов, Барнаульский юридический институт, Барнаул, Россия.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДИЗЕЛЯ 1ЧН 13/14  
З СИСТЕМИ ПАЛИВОПОДАЧІ «COMMON RAIL» ПРИ ВИКОРИСТАННІ  
ПАЛИВ НА ОСНОВІ РІПАКОВОЇ ОЛІЇ**

*С.П. Кулманак*

Наведено аналітичний огляд експериментальних досліджень робочого процесу дизельного двигуна, оснащеного паливною апаратурою Common Rail і використовує палива на основі ріпакової олії. В якості палив використовувалися рапсове масло і етиловий ефір ріпакової олії. Представлені екологічні та економічні показники при збільшенні тиску в гідроаккумуляторі. Наведені особливості робочого процесу дизеля при роботі на біопаливах. Пропонуються всілякі шляхи оптимізації робочого процесу дизеля при роботі на біопаливах на основі ріпакової олії.

**Ключові слова:** згоряння, біопаливо, робочий процес, екологія, рапсове масло, ефір рапсового масла, дизель.

**RESEARCH OF THE PARAMETERS OF THE ENGINE 13/14 WITH FUEL  
SYSTEM «COMMON RAIL» THE USE FUELS BASED ON RAPESEED OIL**

*S.P. Kulmanakov*

An analytical review of experimental studies of the working process of diesel engine, equipped with Common Rail fuel equipment and using fuel based on rapeseed oil st. As the fuels used in rapeseed oil and rapeseed oil ethyl ester. Are presented environmental and economic performance by increasing pressure in the accumulator. The features of the engine when running on biofuels. Offered the possible ways to optimize the workflow engine when running on biofuel based on rapeseed oil.

**Key words:** combustion, biofuels, work process, ecology, canola oil, ester of rapeseed oil, diesel.

**Кулманак** *Сергей Павлович* - канд. техн. наук, проф. кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия, e-mail: SPK\_ICE@mail.ru.