

ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМЕСЕЙ РАПСОВОГО МАСЛА И ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

С.П. Кулманаков, Р.С. Семенов

В работе рассматриваются зависимости показателей рабочего процесса и токсичности двигателя при использовании в качестве топлива смесей рапсового масла и дизельного топлива. Получены данные о влиянии состава топлива на рабочий процесс и образование вредных веществ при различной нагрузке. При использовании специального распылителя форсунки улучшаются параметры рабочего процесса двигателя.

Освобождение от нефтяной зависимости, снижение потребления топлива нефтяного происхождения является приоритетной задачей в экономике различных регионов. Наиболее остро эта проблема стоит перед сельскохозяйственными районами России. Одним из таких районов является Алтайский край.

В последнее время все более широкое распространение получают альтернативные топлива из возобновляемого сырья растительного происхождения. К ним относятся растительные масла (рапсовое, подсолнечное, соевое, пальмовое, арахисовое и др.) и их производные. Для России наиболее перспективно применение рапсового масла. В настоящее время наиболее часто применяются три способа применения рапсового масла в качестве биотоплива. Рапсовое масло может использоваться в чистом виде; в смесях рапсового масла и дизельного топлива; а также в виде продукта переработки – метилового или этилового эфира рапсового масла. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее распространено применение смесей рапсового масла и дизтоплива для небольших сельхозпредприятий [1-3].

Использование смесей топлив позволяет достаточно просто изготовить топливо в условиях самого хозяйства и предполагает использование данного вида топлива без изменения конструкции двигателя, что является существенным фактором, способствующим переходу на альтернативное топливо.

По своим физико-химическим показателям смеси рапсового масла и дизельного топлива занимают промежуточное положение между чистым рапсовым маслом и дизельным топливом. В зависимости от процентного содержания рапсового масла в бинарном топливе, его физико-химические характеристи-

ки принимают значения от чистого рапсового масла до чистого дизельного топлива [4].

Исследования по применению альтернативных топлив на основе рапсового масла проводились в лаборатории кафедры ДВС Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова на экспериментальной установке с одноцилиндровым отсеком тракторного двигателя серии размерностью 130/140 производства ОАО ПО АМЗ (двигатели семейств Д-440, Д-460).

Целью испытаний было получение параметров рабочего процесса, уровня вредных выбросов при работе дизеля на смесях дизельного топлива и рапсового масла.

Для улучшения показателей рабочего процесса были применены специальные распылители форсунок 6А1Р для рапсового масла, разработанные на Алтайском заводе прецизионных изделий (АЗПИ).

В основу методики исследований был положен сравнительный метод. Испытания предусматривали определение оптимальных регулировок, получения эффективных и индикаторных показателей, данных по токсичности и дымности отработавших газов и специальные измерения параметров топливоподачи и внутрицилиндровых процессов.

На каждом режиме проводились замеры эффективного крутящего момента, расхода дизельного или альтернативного топлива, частоты вращения, расхода воздуха, температуры выхлопных газов, топлива, охлаждающей воды и смазки. Одновременно проводилась запись осциллограмм внутрицилиндрового давления, давления топлива и подъема иглы форсунки. Для каждого режима производилось измерение содержания окислов азота, окиси углерода и сажи в отработавших газах.

Следующим этапом испытаний было снятие нагрузочных характеристик. Нагрузочные характеристики снимались в диапазоне

среднего индикаторного давления 0,3 – 0,85 МПа при частоте вращения коленвала $n=1750 \text{ мин}^{-1}$.

При проведении испытаний были исследованы следующие топлива:

- 100% рапсового масла (РМ);
- 100% дизельного топлива. (ДТ);
- 25% ДТ + 75% РМ;
- 50% ДТ + 50% РМ;
- 75% ДТ + 25% РМ.

Основные физико-химические показатели испытанных топлив приведены в табл. 1.

Таблица 1
Физико-химические показатели смесевых топлив

Характеристики Топлива при 20°C	100% дизельного топлива (ДТ)	75% ДТ + 25% РМ	50% ДТ + 50% РМ	25% ДТ + 75% РМ	100% рапсового масла (РМ)
Плотность ρ , кг/м ³	826	849	872	894	917
Кинематическая вязкость ν , мм ² /с	3,83	4,87	8,6	36,5	76
Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3$, Н/м	27,1	27,8	28,6	29,5	33,2
Цетановое число	45	44	43	41	40
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	42,5	41,2	40,0	38,6	37,3
Массовый состав (%): углерод С водород Н кислород О	87,0 12,6 0,4	84,5 12,5 3,0	82,0 12,3 5,7	79,5 12,2 8,4	77,0 12,0 11,0
Теоретическая масса воздуха, кг/кг топлива	14,5	14,0	13,6	13,0	12,6

Плотность, вязкость и поверхностное натяжение являются важными показателями дизельных топлив, определяющими качество смесеобразования в цилиндре дизеля. Чем ниже вязкость и плотность топлива, тем будет более однородным и мелкодисперсным строение топливного факела, что в свою очередь способствует лучшему испарению, смесеобразованию и сгоранию. При повышении вязкости топлива ухудшается микро- и макроструктура топливного факела, возрастает ко-

личество топлива в центральной части факела и уменьшается на периферийной. Вследствие этого уменьшается угол раскрытия, увеличивается дальность топливной струи и, как следствие этого, увеличивается доля топлива попавшего на стенку камеры сгорания двигателя.

Вязкость также определяет текучесть топлива через элементы системы топливоподачи: трубопроводы, насосы, фильтрующие элементы и форсунки. Топлива с небольшой вязкостью, замерзающие при низких температурах позволяют эксплуатировать технику в холодных условиях без переоснащения ее, в то время, как топлива с повышенной вязкостью, замерзающие при более высоких температурах, требуют установки систем подогрева.

Плотность топлива, также существенно влияет на характеристику впрыска топлива: по мере увеличения плотности уменьшается сжимаемость топлива и увеличивается скорость распространения возмущений в нем. Так как плотность рапсового масла больше плотности нефтяного дизтоплива следует ожидать увеличение максимального давления топливоподачи и частичного уменьшения продолжительности топливоподачи.

В сравнении с нефтяным дизельным топливом рапсовое масло обладает меньшей склонностью к самовоспламенению, цетановое число рапсового масла равно 40, тогда как для нефтяного дизельного топлива оно составляет около 45 единиц. По мере возрастания доли рапсового масла происходит увеличение периода задержки самовоспламенения, что будет негативно влиять на показатели рабочего процесса. Для компенсации необходимо увеличивать угол опережения впрыска по мере увеличения доли рапсового масла.

При сгорании топлива в цилиндре двигателя происходят сложные химические процессы с образованием промежуточных продуктов, но в целом, основными продуктами сгорания углеводородного топлива являются углекислый газ CO_2 и водяной пар H_2O . При этом углерод и водород топлива реагируют с кислородом воздуха. Если топливо, участвующее в реакции, является кислородсодержащим, как в случае с рапсовым маслом, то атомарный кислород топлива также участвует в образовании промежуточных и конечных продуктов реакций горения.

Наличие атомарного кислорода топлива позволяет снизить дымность отработавших газов за счет более равномерного распре-

ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМЕСЕЙ РАПСОВОГО МАСЛА И ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

ления кислорода по объему окисляющегося топлива.

В то же время наличие кислорода в топливе снижает количество теплоты, вводимой в цикл при равной цикловой порции, что будет предопределять снижение мощности.

Следовательно, большее количество атомарного кислорода (более 10%) в рапсовом масле приводит к следующему:

- с увеличением доли рапсового масла в топливе будет снижаться мощность двигателя, поэтому необходима перерегулировка топливной аппаратуры для сохранения мощности;

- будет изменяться количество вредных выбросов и состав отработавших газов.

Результаты испытаний в зависимости от состава топлива на номинальном режиме представлены на рисунках 1 и 2.

Индикаторный КПД η_i характеризует эффективность преобразования тепла, выделившегося в процессе сгорания топлива в работу газов в цилиндре двигателя. Сопоставляя графики изменения индикаторного КПД процессов видно, что рабочий процесс на чистом рапсовом масле примерно на 10% уступает рабочему процессу на дизтопливе на режиме номинальной мощности. Причина этого в отличии характера подвода тепла. Процесс сгорания рапсового масла отличается более высокой продолжительностью, по сравнению с процессом сгорания дизтоплива. Это связано, во-первых, с физико-химическими свойствами рапсового масла (высокая температура испарения, повышенная вязкость и т.д.), а во-вторых, с увеличением продолжительности топливоподачи связанным с тем, что при работе на рапсовом масле необходимо увеличить цикловую порцию, чтобы получить те же значения мощности, что и при работе на дизтопливе. В связи с этим индикаторный КПД по мере возрастания доли рапсового масла уменьшается; однако при соответствующей регулировке топливной аппаратуры для конкретного смешанного топлива можно компенсировать уменьшение индикаторного КПД и получить сравнимый с индикаторным КПД при работе на дизельном топливе. Удельный индикаторный расход топлива g_i характеризует качество процесса подвода тепла и теплотворную способность топлива. Низшая теплота сгорания рапсового масла 37 МДж/кг, а дизтоплива 42,5 МДж/кг, разница составляет 13%. Поэтому при сравнении значения удельного индикаторного расхода топлива наблюдается еще большее отличие между рапсовым маслом и

дизтопливом. Ухудшение данного параметра составляет 20%.

Для смешанных топлив с увеличением доли рапсового масла наблюдается увеличение удельного индикаторного расхода топлива по сравнению с работой на дизтопливе.

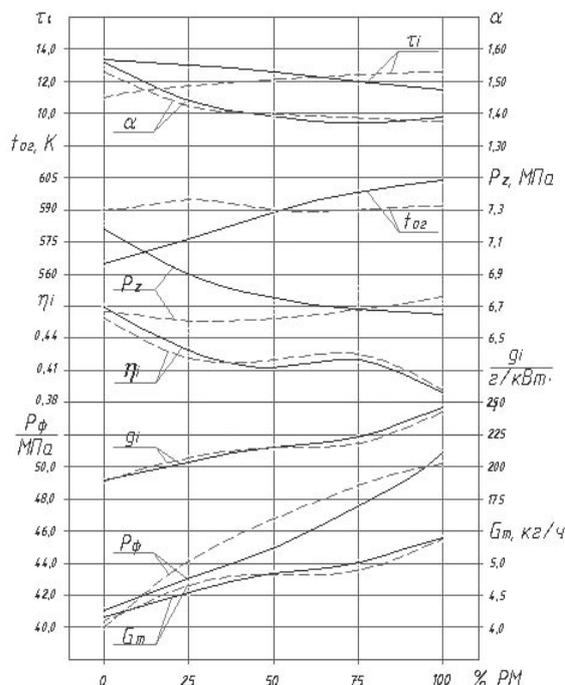


Рис. 1. Показатели рабочего процесса при изменении состава смешанных топлив: $P_i = 0,85$ МПа; $n = 1750$ мин⁻¹; _____ Распылитель 6A1; - - - - - Распылитель 6A1P

В связи с отличиями в протекании рабочего процесса на рапсовом масле и дизтопливе необходимо увеличивать подачу топлива, для достижения одинакового уровня мощности. Что приводит к обогащению состава топливовоздушной смеси α . При использовании рапсового масла двигатель работает с более низким коэффициентом избытка воздуха, разница составляет 10%.

Приведенные графики изменения температуры отработавших газов $t_{ог}$ показывает увеличение данного параметра для чистого рапсового масла. Данный параметр характеризует работоспособность двигателя в плане тепловой напряженности, а также дает возможность сделать качественную оценку процесса подвода тепла к рабочему телу. Сравнявая два процесса, по этому параметру можно оценить протекание процессов сгорания на одном и другом топливе. Из рассмотрения графиков видно, что увеличением доли

рапсового масла растет разница в температурах: для дизтоплива максимальная температура на выхлопе составляет 565°C , а для рапсового масла 605°C , что подтверждает, что сгорание рапсового масла больше затянато на линию расширения, чем сгорание дизтоплива. Для специального распылителя 6A1P данный параметр остается постоянным. Это показывает, что при работе данного распылителя происходит интенсификация смесеобразования и процесс сгорания проходит быстрее.

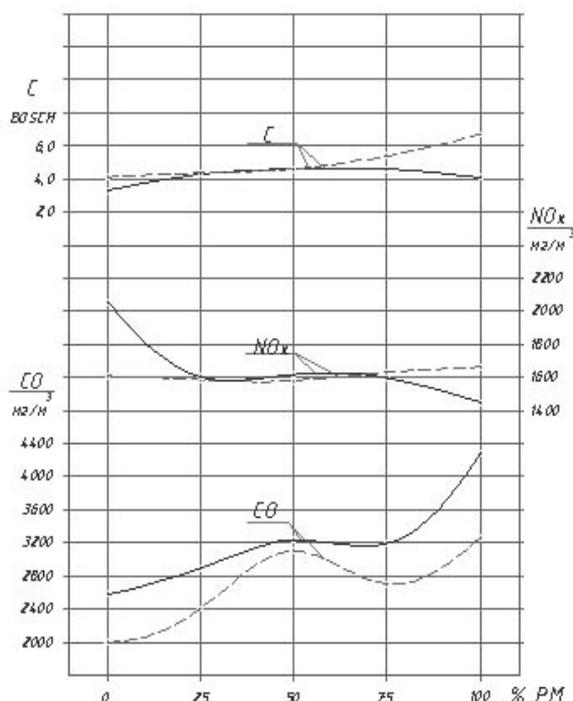


Рис. 2. Показатели вредных выбросов при изменении состава смесевых топлив; $P_i = 0,85$ МПа; $n = 1750 \text{ мин}^{-1}$; _____ Распылитель 6A1; ---- Распылитель 6A1P

Максимальное давление цикла P_z снижается по мере увеличения доли рапсового масла, что предопределяется особенностями физико-химических свойств рапсового масла и его сгоранием.

С увеличением доли рапсового масла значительно увеличивается максимальное

давление в топливной магистрали P_f , что приводит к увеличению динамических нагрузок и, соответственно, уменьшению ресурса основных узлов – плунжерной пары, толкателя и кулачкового вала.

Экологические показатели при применении смесевых топлив несколько ухудшаются: если выбросы окислов азота NO_x при изменении состава остаются примерно постоянными [5], то выбросы окиси углерода CO увеличиваются по сравнению с использованием чистого дизтоплива или рапсового масла, достигая максимальных значений при следующем составе смесевого топлива ~ 30% рапсового масла и 70% дизтоплива, аналогично изменяется характер изменения выбросов сажи C .

По результатам испытаний можно рекомендовать смесь 75 % рапсового масла и 25 % дизельного топлива как наиболее оптимальную при эксплуатации по совокупности мощностных, экономических и экологических показателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марченко А.П., Минак А. Ф. и др. Сравнительная оценка эффективности применения растительных топлив в дизельном двигателе // Двигатели внутреннего сгорания. – 2004. - № 1. - С. 46-51.
2. Марченко А.П., Минак А.Ф. и др. Токсичность отработавших газов двигателя при использовании топлив растительного происхождения // Двигатели внутреннего сгорания. – 2002. - № 1. - С. 22-25.
3. He Y., Bao Y.D. Study on rapeseed oil as alternative fuel for a single-cylinder diesel engine // Renewable Energy. - № 28 (2003). - P. 1447 – 1453.
4. Winkler H. Raps – der nachwachsende Energieträger // CLB: Chem. Lab. Und Biotechn. – 1992. – № 7. – S. 378 – 380.
5. Савельев Г.С., Краснощеков Н.В. Биологическое моторное топливо для дизелей на основе рапсового масла // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. - № 10. - С.11-14.
6. Звонов В.А., Теренченко А.С. Образование окислов азота при сгорании альтернативных топлив в дизеле // Автомобильная промышленность. – 2003. - № 3. - С.10-15.