

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПЫЛИВАНИЯ БИОТОПЛИВ ПОД РАЗЛИЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ВПРЫСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАСПЫЛИВАНИЯ

А.В. Еськов, А.В. Маецкий

Приводятся результаты экспериментальных исследований по распыливанию рапсового масла, эфира рапсового масла и дизельного топлива при различных давлениях впрыска. Эксперименты проводились в атмосферных условиях с применением систем топливоподачи Common Rail и ТАНД.

Ключевые слова: качество распыливания, оптическая неоднородность, обработка изображений, биотопливо

От качества процесса распыливания топлива зависит последующее сгорание рабочей смеси и, следовательно, выходные характеристики двигателя: экономические, экологические, мощностные и другие. Один цикл распыливания длится до 6 мс, поэтому без специальной высокоскоростной аппаратуры оценить качество распыливания практически невозможно.

В АлтГТУ на кафедре экспериментальной физики было разработано средство оптического контроля качества распыливания топлива на базе скоростной видеокамеры «ВидеоСпринт» производства ЗАО «НПК Видеоскан» [1]. Данное средство позволяет обрабатывать кадры видео и строить гистограммы и графики изменения площадей яркостных зон струи (оптических неоднородностей) во времени [2-4].

Обработка полученных видеоизображений производится при помощи пакета программного обеспечения, позволяющего: отбирать требуемые кадры, производить форматирование кадров по маске, загруженной пользователем, устранять шумы на изображениях, повышать контраст, устранять динамическое изменение яркости кадров, рассчитывать порог для каждого кадра (яркость, выше которой регистрируется фон) несколькими методами, производить расчет площадей яркостных зон (оптических неоднородностей), строить гистограммы и графики, оценивать погрешность эксперимента и др. [5, 6].

Оптическая неоднородность струи (рис. 1) вызвана истинной неоднородностью распыливания и неравномерным распределением капель топлива в пространстве. В центральной части и основании струи более темная, на периферии и переднем фронте –

более светлая. Объясняется это тем, что при прохождении светового излучения через распыленную струю, в результате уменьшения светового потока, прошедшего в зонах с высокой концентрацией капель топлива, область этой зоны на изображении будет соответствовать меньшей яркости (тёмным оттенкам), и наоборот.

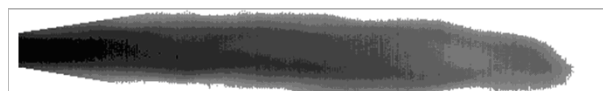


Рисунок 1 - Визуализация оптической неоднородности струи

Более качественно распыленная струя топлива имеет гистограмму распределения яркостей, в которой средние яркости доминируют, и чем больше максимум средних яркостей на гистограмме, тем лучше качество распыливания, и наоборот. Это объясняется тем, что в такой струе участки с плотной концентрацией капель и с разреженной концентрацией капель уступают по площади средним участкам, что соответствует более равномерному распыливанию.

При помощи таблиц и графиков динамики изменения во времени площадей яркостных зон исследуется динамика изменения оптической неоднородности распыливания. Чем больше наблюдаемая оптическая неоднородность, тем хуже качество распыливания, и наоборот.

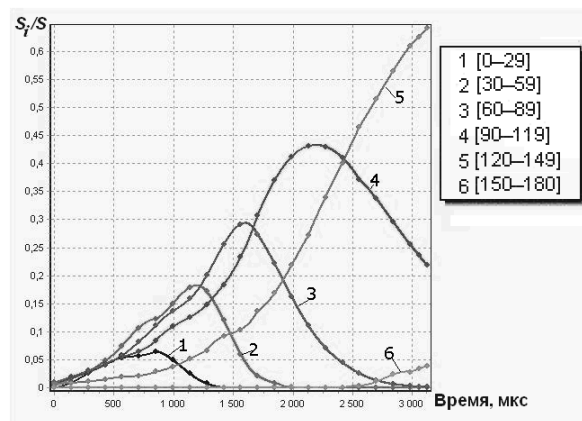
Для апробации работы средства оптического контроля качества распыливания топлива были проведены эксперименты с распыливанием дизельного топлива, рапсового масла, эфира рапсового масла, при различ-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПЫЛИВАНИЯ БИОТОПЛИВ ПОД РАЗЛИЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ВПРЫСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАСПЫЛИВАНИЯ

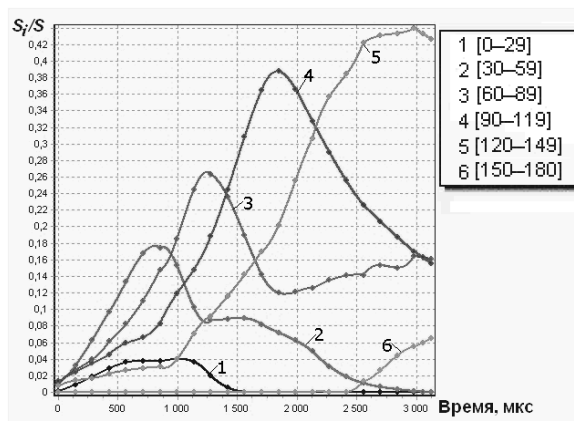
ных давлениях впрыска. Исходные данные для всех измерений: топлива при комнатной температуре, впрыск без пилотной порции топлива, четырехдырчатый распылитель с соплами $\mu_f = 0,21 \text{ мм}^2$, частота съемки видео – 7042 кадра в секунду. Результаты представ-

лены на рисунках 2–5.

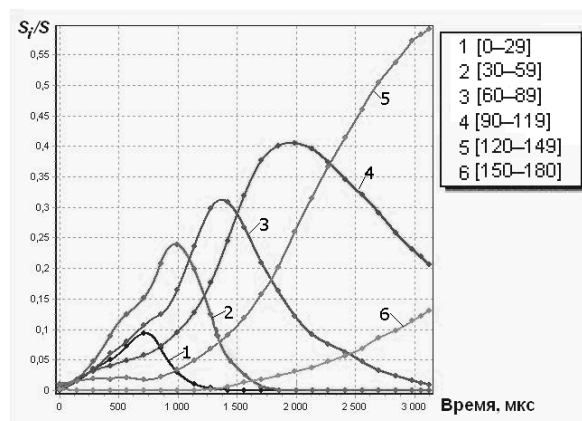
На рис. 2 и 3 представлены результаты распыливания дизельного топлива и эфира рапсового масла с использованием системы топливоподачи Common Rail с частотой вращения вала двигателя 1750 мин^{-1} .



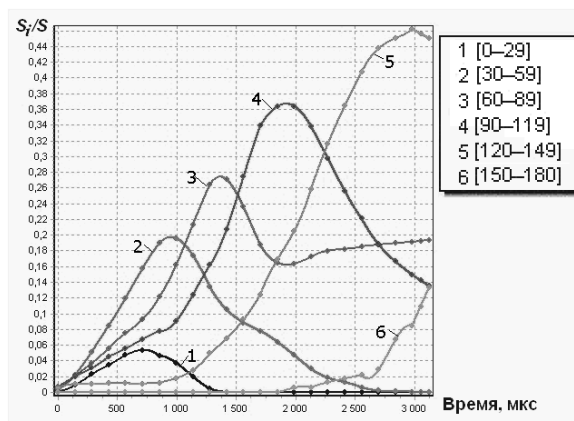
а) дизельное топливо, 60 МПа



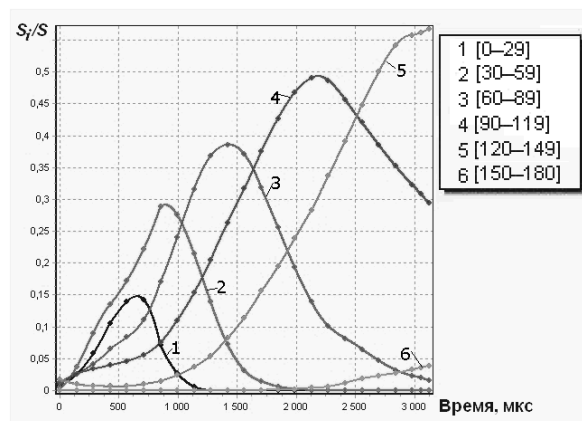
б) эфир рапсового масла, 60 МПа



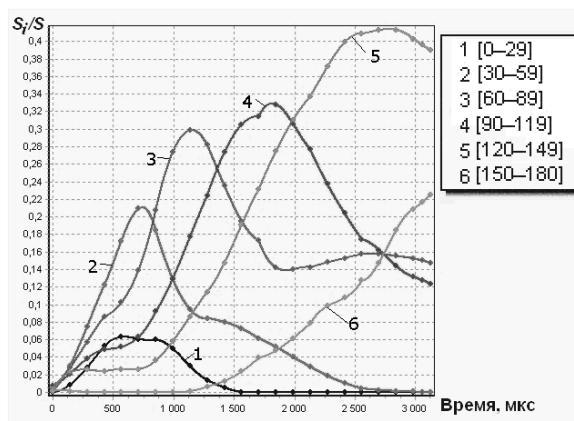
в) дизельное топливо, 100 МПа



г) эфир рапсового масла, 100 МПа



д) дизельное топливо, 160 МПа



е) эфир рапсового масла, 160 МПа

Рисунок 2 - Динамика изменения во времени оптической неоднородности струи в зависимости от топлива и давления впрыска (Common Rail)

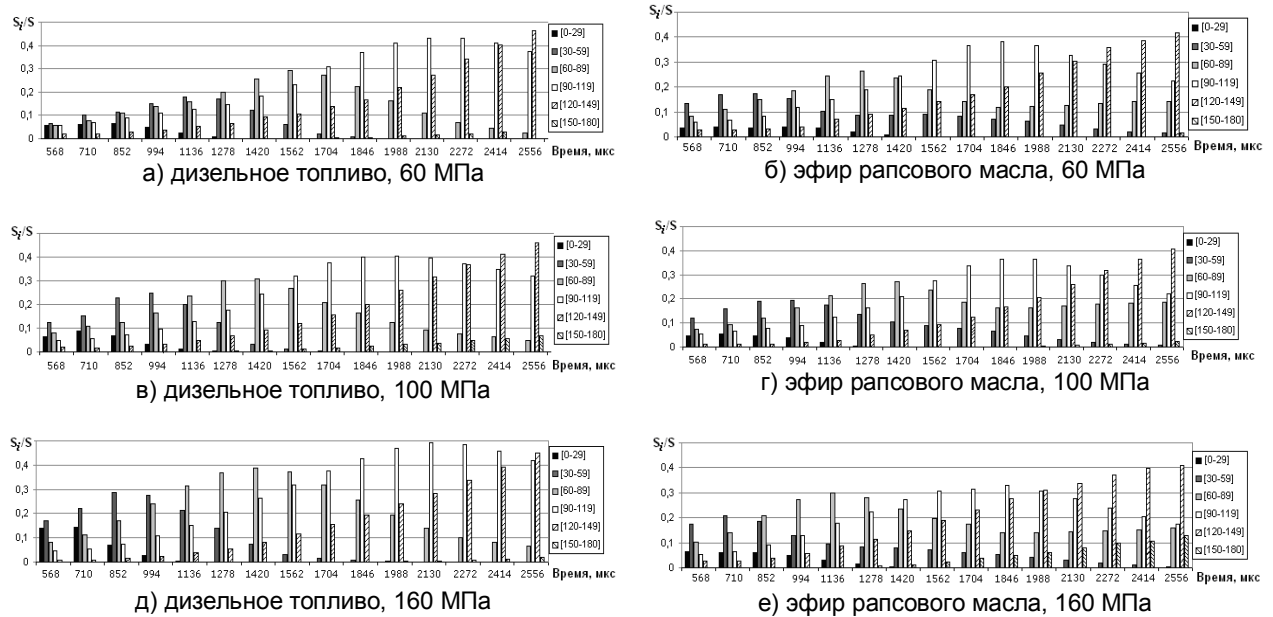


Рисунок 3 - Гистограммы площадей яркостных зон из рисунка 2 в моменты времени от 568 до 2556 мкс

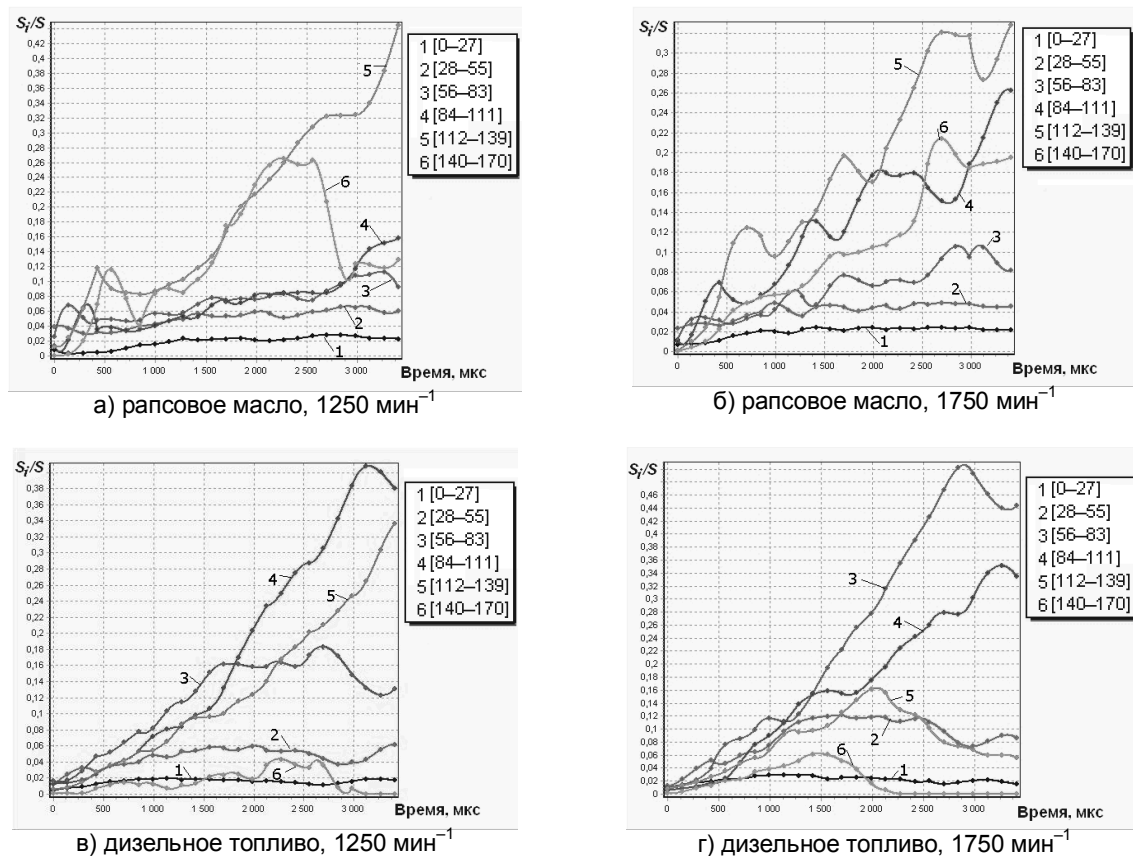


Рисунок 4 - Динамика изменения во времени оптической неоднородности струи в зависимости от топлива и частоты вращения вала двигателя (ТАНД)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПЫЛИВАНИЯ БИОТОПЛИВ ПОД РАЗЛИЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ВПРЫСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАСПЫЛИВАНИЯ

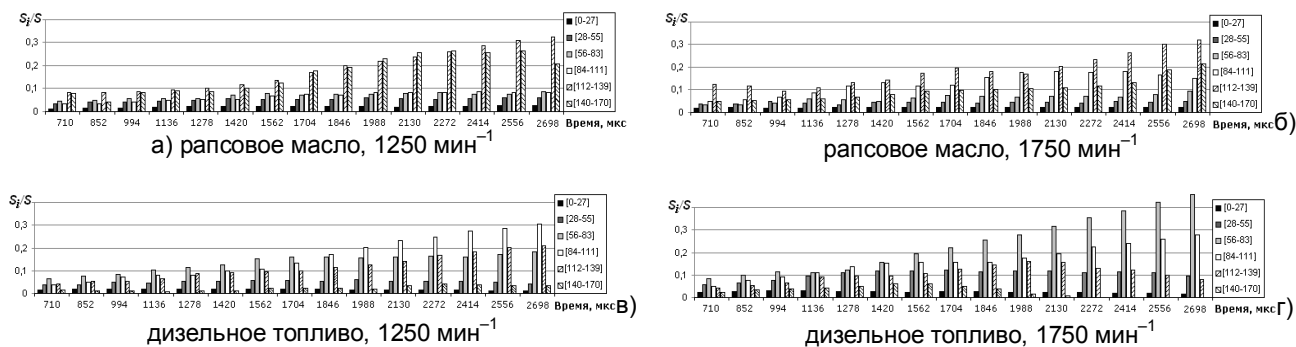


Рисунок 5 - Гистограммы площадей яркостных зон из рисунка 4 в моменты времени с 710 до 2698 мкс

На рис. 2 линии характеризуют изменение во времени площадей шести яркостных зон в диапазоне яркостей от 0 до 180 градаций АЦП. По оси ординат на рис. 2 и 3 приведены площади яркостных зон, нормированные к общей максимальной площади струи.

Сравнивая графики на рис. 2 можно отметить, что у эфира рапсового масла, как и у дизельного топлива, с повышением давления впрыска растет максимум темных яркостных зон; что же касается времени распада темных зон струи, то для эфира рапсового масла характерен более медленный и плавный спад темных зон, в сравнении с дизельным топливом. Гистограммы распределения яркости струи при распыливании двух видов топлив имеют схожий характер.

Большее давление впрыска соответствует большее количество гистограмм, в которых площади средних яркостных зон доминируют и имеют больший максимум. Таким образом, эфир рапсового масла и дизельное топливо распыливаются без существенных различий по качеству, при этом качество распыливания улучшается с повышением давления впрыска. Схожесть в распыливании объясняется схожестью физических показателей указанных видов топлив.

На рис. 4 и 5 представлены результаты распыливания дизельного топлива и рапсового масла с использованием системы ТАНД при оборотах вала двигателя 1250 и 1750 мин⁻¹. На рис. 4 линии характеризуют изменение во времени площадей шести яркостных зон в диапазоне яркостей от 0 до 170 градаций АЦП. По оси ординат на рис. 4 и 5 приведены площади яркостных зон, нормированные к общей максимальной площади струи.

Сравнивая графики на рис. 4,б и 4,г можно заметить, что при распыливании дизельного топлива в связи с увеличением

площади всей струи от 0 до 1,5 мс равномерно увеличиваются площади всех яркостных ее зон (крайние зоны растут меньше, средние четыре зоны растут больше), а при распыливании рапсового масла площади яркостных зон изменяются неодинаково. Для рапсового масла (рис. 4,б) можно отметить относительную неизменность площадей темных яркостных зон №№ 1–3 и значительную динамику площадей светлых яркостных зон №№ 4–6, что свидетельствует о худшем качестве распыливания, в сравнении с дизельным топливом. Из графика 4,б видно, что с развитием струи во времени площадь участков струи с разреженной концентрацией капель возрастает, а площадь участков струи с плотной концентрацией капель относительно общей площади струи – убывает, т.е. имеет место значительная неравномерность распределения капель в струе топлива. Низкий максимум темных зон и отсутствие их распада, в сравнении с предыдущими экспериментами, объясняется низким давлением впрыска в случае применения ТАНД (примерно 27 МПа).

Худшее распыливание рапсового масла в сравнении с дизельным топливом при прочих равных условиях можно также увидеть, сравнивая гистограммы 5,а и 5,в, а также 5,б и 5,г. Для дизельного топлива (рис. 5,в и 5,г) свойственно большее количество гистограмм, в которых площади средних яркостных зон доминируют и имеют больший максимум, в сравнении с рапсовым маслом (рис. 5,а и 5,б). Аналогично можно сделать вывод о том, что увеличение оборотов вала двигателя способствует улучшению качества распыливания для обоих видов топлива (в связи с увеличением давления впрыска при увеличении оборотов вала двигателя в случае ТАНД).

Выводы

Эксперименты показали, что с повышением давления впрыска для системы Comman Rail, а также с увеличением оборотов вала двигателя для системы ТАНД качество распыливания топлив улучшается. Качество распыливания биотоплив отличается: рапсовое масло уступает по качеству распыливания дизельному топливу, эфир рапсового масла и дизельное топливо распыливаются без существенных различий по качеству.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камера скоростной видеосъемки «Видео-Спринт» // Видеоскан [Электронный ресурс]: [сайт] / ЗАО НПК «Видеоскан». Электрон. дан. – М., 2012. – Режим доступа: <http://videoscan.ru/page/731>. – Загл. с экрана.
2. Еськов, А.В. Средство оптического контроля качества распыливания топлива с использованием скоростной видеосъемки / А.В. Еськов, А.В. Маецкий // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 3. – С. 71-74.
3. Программа для раскадровки и обрезки кадров видеоизображений топливных струй: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / А.В. Еськов, А.В. Маецкий; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – № 2012615905; дата поступления 04.05.2012; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27.06.2012.
4. Программа для обработки изображений топливных струй и расчета площадей оптических

неоднородностей: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / А.В. Маецкий, А.В. Еськов, С.И. Гибельгауз; заявитель и правообладатель Маецкий А.В. – № 2012616678; дата поступления 01.06.2012; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25.07.2012.

5. Еськов А.В., Иордан В.И., Гибельгауз С.И. Экспериментальный комплекс и программа для изучения динамики развития и структуры топливной струи // Ползуновский вестник.- 2010.- № 1.- С. 170-175.

6. Еськов А.В., Маецкий А.В. Экспериментальный стенд и пакет программ для оптического контроля качества распыливания топлива с использованием скоростной видеосъемки // Ползуновский вестник.- 2012.- № 3/1.- С. 75-79.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта 13-08-98044 «Исследование процессов смесеобразования и сгорания в дизелях с целью повышения эффективности и снижения токсичности при использовании биотоплив» на 2013 г.

Еськов А.В., д.т.н., доц.,
профессор кафедры экспериментальной физики,
e-mail: Alesc72@mail.ru
Маецкий А.В., программист 1-й категории,
аспирант кафедры экспериментальной физики,
e-mail: maetsky@rambler.ru
Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова, Барнаул