

Конструкція силового механізму дозволяє змінювати робочий об'єм циліндра у вузькому діапазоні, тому регулювання навантаження двигуна забезпечується, в основному, дроселюванням впуску в циліндр свіжого заряду. Це приводить, як і в класичному ДВЗ, до погіршення показників двигуна через збільшення насосних втрат.

У двигуні відбувається незначне продовжене розширення робочого тіла (на номінальному режимі до об'єму всього лише в 1,4 рази перевищуючого об'єму наприкінці впуску), що дає невеликий ефект поліпшення економічності від продовженого розширення. До того ж, на часткових навантаженнях при регулюванні ступеня стиску величина ступеня розширення зменшується виграш в економічності від продовженого розширення знижується.

Завдяки особливостям конструкції силового механізму, при зростанні ступеня стиску об'єм надпоршневої порожнини циліндра наприкінці впуску й початку впуску (при положенні поршня у ВМТ), названий нами «мертвим об'ємом», збільшується й значно більше об'єму камери згоряння. Збільшення мертвого об'єму приводить до підвищення коефіцієнта залишкових газів і зниженню коефіцієнта наповнення, що погіршує робочий процес двигуна.

#### Висновки

Виконані дослідження дозволяють стверджувати, що двигун GoEngine має незначну перевагу по показникам робочого процесу у порівнянні з класичним ДВЗ.

УДК 621.43.013.4

*А.В. Еськов, д-р техн. наук, А.В. Маецкий, асп.*

## ОЦЕНКА ТОПЛИВНЫХ СТРУЙ НА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАСПЫЛИВАНИЯ

### Постановка проблемы

От качества процесса распыливания топлива зависит последующее сгорание рабочей смеси, а значит выходные характеристики двигателя в целом: экономичность, экологичность, мощность и другие. Качество распыливания топлива дизельной форсункой определяется мелкостью и однородностью его дисперсии, а также равномерностью распределения капель топлива в объеме струи ([1, с. 23], [2, с. 143]). При визуальном наблюдении качественно распыливаемое топливо должно быть туманообразным, без сплошных струек и легко различимых местных сгущений [3].

Один цикл распыливания занимает по време-

ни до 6 мс, поэтому без специальной высокоскоростной аппаратуры оценить качество распыливания практически невозможно. Наиболее предпочтительными методами изучения дисперсных потоков жидкости являются оптические, использующие явления воздействия дисперсного потока на световое излучение, т.к. в этом случае принципиально отсутствует всякое механическое влияние на изучаемый процесс, а также возможно применение малых, по сравнению с периодом развития потока, времен измерения [4].

Незважаючи на це, інтерес до даного двигуна значний і ряд спеціалістів відзначають двигун GoEngine, як один з найбільш цікавих за останні 15-20 років.

### Список литературы:

1. Пат. 6349684 США, В1 : F16H 21/36. Crank-connecting rod mechanism / De Gooijer Lambertus H. - Заявлено 17.04.2000; Оубл. 26. 02. 2002. – 5 с. 2. Пат. 2001/0036334 США, А1 : F02B 47/08 / Reciprocating piston mechanism and a method of increasing internal egrin an internal combustion engine / De Gooijer Lambertus H. – Заявлено 9.01.2009; Оубл. 17. 02. 2011. – 4 с. 3. Displacement Spark-Ignition Engine: Final Report / Sandia Laboratories; Pouliot H.N., Robinson C.W. and Delameter W.R. – Livermore, California, 1978. – 83 p.p. – Report № SAND 77-8299.

### Bibliography (transliterated):

1. Pat. 6349684 SShA, B1 : F16H 21/36. Crank-connecting rod mechanism / De Gooijer Lambertus H. - Zayavleno 17.04. 2000; Opubl. 26. 02. 2002. – 5 s. 2. Pat. 2001/0036334 SShA, A1 : F02B 47/08 / Reciprocating piston mechanism and a method of increasing internal egrin an internal combustion engine / De Gooijer Lambertus H. – Zayavleno 9.01.2009; Opubl. 17. 02. 2011. – 4 s. 3. Displacement Spark-Ignition Engine: Final Report / Sandia Laboratories; Pouliot H.N., Robinson C.W. and Delameter W.R. – Livermore, California, 1978. – 83 p.p. – Report № SAND 77-8299.

ни до 6 мс, поэтому без специальной высокоскоростной аппаратуры оценить качество распыливания практически невозможно. Наиболее предпочтительными методами изучения дисперсных потоков жидкости являются оптические, использующие явления воздействия дисперсного потока на световое излучение, т.к. в этом случае принципиально отсутствует всякое механическое влияние на изучаемый процесс, а также возможно применение малых, по сравнению с периодом развития потока, времен измерения [4].

### Постановка задачи

Для контроля процесса распыливания топлива была поставлена задача: с использованием имею-

щихся приборов и устройств, усовершенствовать метод скоростной кино-фотосъемки и реализовать на его основе средство диагностики и контроля качества распыливания на предмет равномерности распределения капель топлива в струе и однородности распыливания. При этом принимается допущение, что средний диаметр капель является постоянным и равным диаметру по Заутеру.

### Экспериментальная часть

Видеофайлы процессов распыливания были получены на стенде скоростной видеорегистрации топливных струй при использовании скоростной видеокамеры «ВидеоСпринт» производства ЗАО «НПК Видеоскан» [5]. Из видеофайлов, с помощью специально разработанной программы для ЭВМ, были отобраны и отформатированы по размеру и

содержанию кадры, содержащие в себе топливные струи. Отобранные кадры были сохранены в несжатом графическом формате Bitmap (8 бит).

Для обработки и анализа отобранных из видеофайла кадров была разработана программа для ЭВМ (рис. 1), позволяющая устранять шум на изображениях, повышать контраст, сохранять измененные изображения, рассчитывать порог для каждого кадра (яркость, выше которой регистрируется фон) несколькими методами, производить визуализацию сегментации (бинаризацию изображений или раскраску яркостных зон), расчет площадей яркостных зон (оптических неоднородностей) с сохранением полученных данных, строить гистограммы и графики, оценивать погрешность эксперимента.

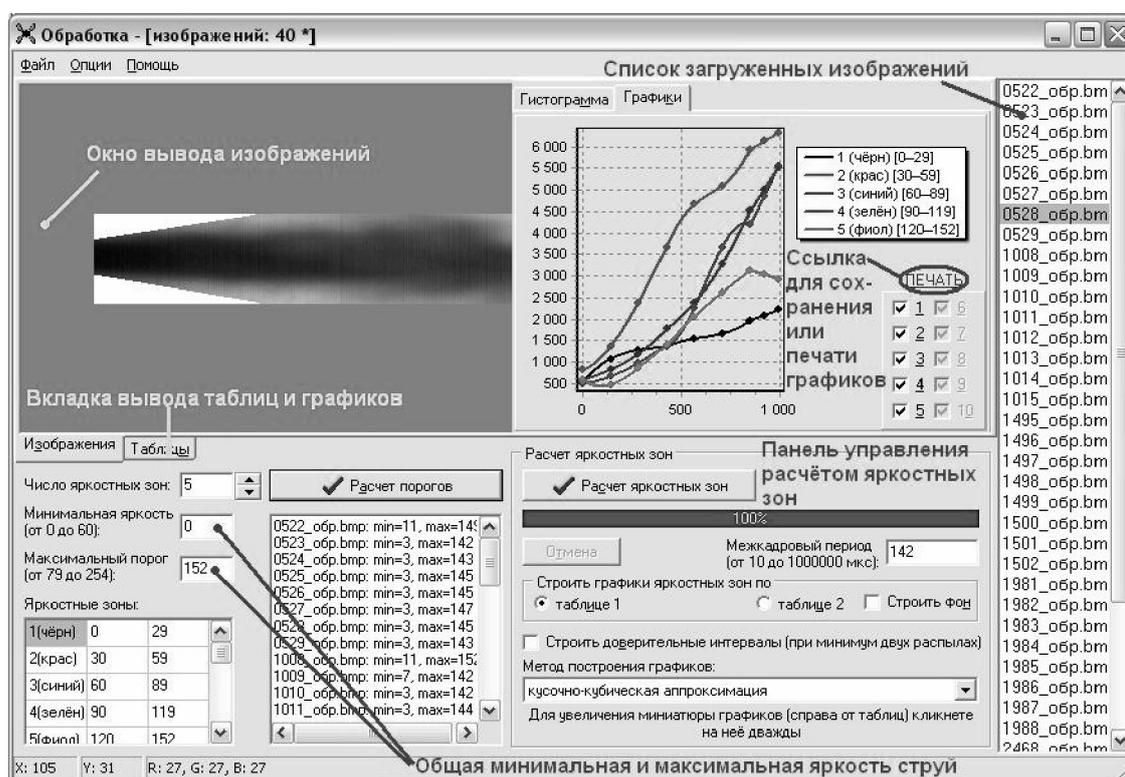


Рис. 1. Главное окно программы по обработке топливных струй

Для устранения шума в программу заложено несколько методов: полный медианный фильтр с окном 3x3 или 5x5 и частичный медианный фильтр с окном 3x3 или 5x5 [6]. Повышение контраста производится линейным методом [7]. Полученные модифицированные изображения топливных струй готовы для дальнейшей обработки. При прохождении светового излучения через распыленную струю, в результате уменьшения светового потока, прошедшего в зонах с высокой концентрацией ка-

пель топлива, область этой зоны на изображении будет соответствовать меньшей яркости, и наоборот. Отдельную научную задачу представляет изучение динамики изменения темных и светлых зон на изображениях топливных струй, получаемых разработанным программным средством. Принципиальным моментом является определение порога, т.е. нахождения яркости, выше которой регистрируется фон изображения (предполагается, что струя темная, а фон светлый). Для изображений с топ-

ливными струями точный порог определить очень сложно.

Одним из пороговых методов, заложенных в программу, является метод «треугольника», суть которого сводится к следующему. На рис. 2 представлена возможная гистограмма изображения с топливной струей (по оси абсцисс – яркость  $b$ , по оси ординат – количество пикселей соответствующей яркости  $h(b)$ ). Струя имеет темные оттенки (расположена ближе к оси ординат), фон – светлые (расположен дальше от оси ординат и его  $h(b)$  явно выражены). Из анализа  $h(b_i)$  находятся две точки:  $(b_{max}, h(b_{max}))$  и  $(b_{min}, h(b_{min}))$  – первое минимальное слева значение гистограммы, отличное от нуля. Через указанные две точки проводится прямая. Далее, для каждого из значений яркости  $b_i \in [b_{min}, b_{max}]$  вычисляется расстояние  $x$  от точки  $(b_i, h(b_i))$  до прямой. В качестве порогового значения яркости выбирается точка  $b_i$ , в которой расстояние  $x$  достигает максимума [8].

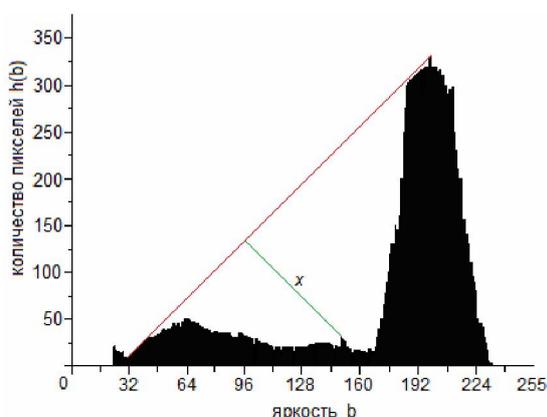


Рис. 2. Иллюстрация метода «треугольника» определения порога яркости

Указанный метод определения порога яркости имеет существенный недостаток. Он применим в тех случаях, когда пикселей струи намного меньше, чем пикселей фона и фон имеет явно выраженный максимум на гистограмме яркости. На практике это соблюдается не всегда. Поэтому в программу был заложен еще один пороговый метод – метод «изодата».

Суть метода «изодата» определения порога яркости сводится к следующему. В качестве начального значения порога  $T_0$  задается число 128 (по формуле  $T_0 = 2^{B-1}$ , где  $B$  – глубина изображения в битах, в нашем случае  $B = 8$ ). Вычисляются сред-

ние яркости струи  $\bar{i}_c$  и фона  $\bar{i}_\phi$ . Очередное значение порога вычисляется как среднее:  $T_{i+1} = (\bar{i}_c + \bar{i}_\phi) / 2$ . Процесс повторяется до стабилизации значения порога (пока  $T_i \neq T_{i-1}$ ) [8].

Метод «изодата» более точно определяет значение порога яркости, а недостатком метода является большая длительность по времени нахождения порога яркости в сравнении с методом «треугольника». По выбору пользователя программа находит пороги яркости любым методом, а также порог может устанавливаться пользователем. Различие в работе методов «треугольника» и «изодата» представлены на рис. 3.

### Анализ результатов

Согласно общепринятому идеализированному описанию струи топлива, она имеет конусообразный вид и в центральной своей части более плотная, чем на периферии (смотри, например, [2]). Пример изображения топливной струи представлен на рисунке 3, а. Заметно, что струя имеет неодинаковую яркость в различных участках. Так, в центральной части и основании она более темная, на периферии и переднем фронте – более светлая. Этому может быть, на наш взгляд, две причины: во-первых, истинная неоднородность распыливания и неравномерность распределения капель в струе топлива, во-вторых, несовершенство аппаратной части средства оптического контроля качества распыливания (например, видекамеры или подсвечивающего струю устройства). Для определения главенствующей причины неодинаковости яркости струи по всей ее длине (оптической неоднородности), программа строит график динамики изменения средней яркости струи и средней яркости фона (рис. 4).

Несмотря на то, что со временем площадь струи увеличивается, а площадь фона уменьшается, из рисунка 4 видно, что средняя яркость фона остается относительно неизменной, а средняя яркость струи имеет более значительную динамику изменения. Это говорит о том, что главенствующей причиной оптической неоднородности струи является неоднородность распыливания и неравномерность распределения капель в струе топлива. Свет, проходящий через струю, поглощается и отражается неодинаково в связи с тем, что капли имеют разные диаметры, и количество капель неодинаково в разных участках струи.

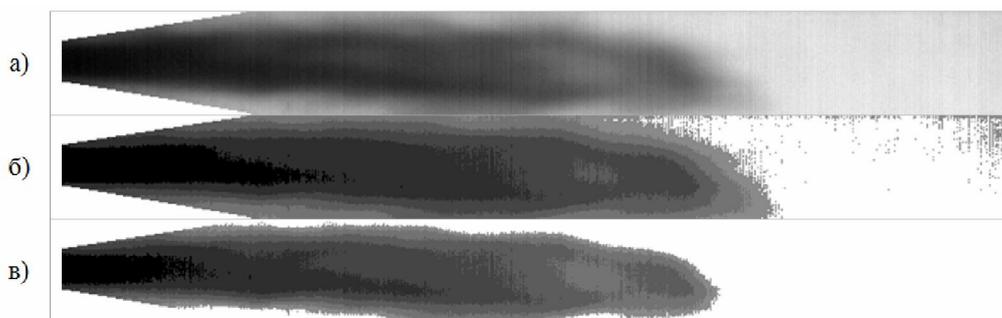


Рис. 3. Визуализация оптической неоднородности струи:  
а – исходное изображение; б – изображение, порог для которого определен методом «треугольника»;  
в – изображение, порог для которого определен методом «изодата»

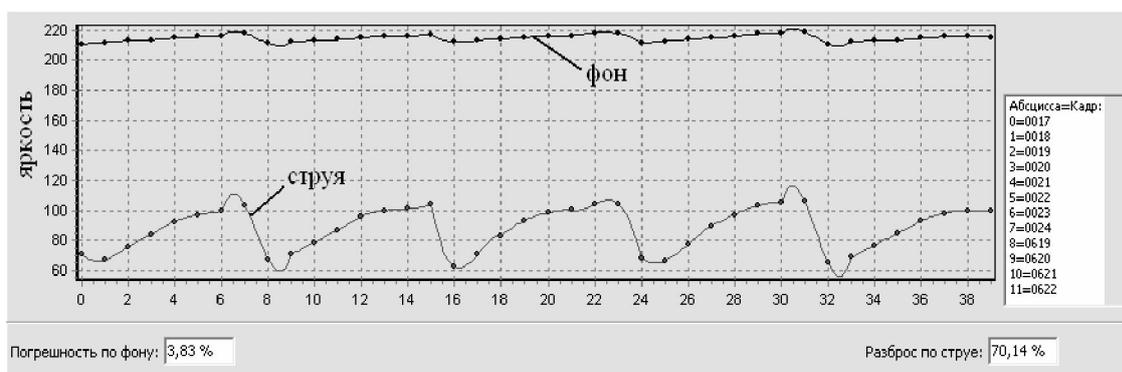


Рис. 4. Динамика изменения средней яркости струи и средней яркости фона

Из всех загруженных изображений со струями находится минимальная яркость струи и максимальная пороговая яркость струи (выше которой регистрируется фон). Указанный яркостной диапазон делится на одинаковые отрезки – яркостные зоны, число которых задается пользователем. При помощи таблиц и графиков динамики изменения от кадра к кадру (во времени) площадей яркостных зон можно исследовать динамику изменения светлых и темных зон топливных струй, что, в свою очередь, позволяет увидеть оптическую неоднородность распыливания, вызванную истинной неоднородностью и неравномерностью распыливания. Чем больше наблюдаемая оптическая неоднородность, тем хуже качество распыливания, и наоборот.

На рис. 5 приведен пример динамики изменения площадей яркостных зон (топливо – рапсовое масло, температура топлива 26 °С, давление впрыскивания 60 МПа, частота вращения вала двигателя 1750 мин<sup>-1</sup>). По оси абсцисс – время в микросекундах, по оси ординат – площадь в пикселях. Межкадровый период считается с информации, записанной видеокамерой, или вводится пользователем. Линии характеризуют изменение во времени площадей шести яркостных зон в диапазоне яркостей от 0 до 170 градаций АЦП.

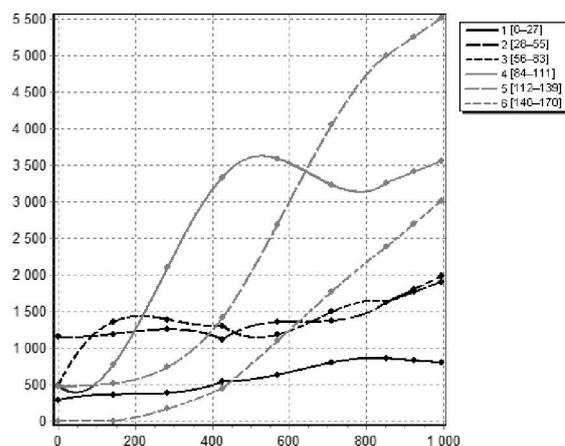


Рис. 5. Пример графика изменения во времени оптической неоднородности струи (ось абсцисс – время в мкс, ось ординат – площадь в пикселях)

Так, из графика можно отметить относительную неизменность площадей темных яркостных зон №№ 1–3 и значительную динамику площадей светлых яркостных зон № 4–6. Это означает, 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 не-

равномерность распределения капель в струе топлива.

#### Выводы

Описанное программное средство программно-технического комплекса контроля качества распыливания позволяет производить как обработку изображений топливных струй (устранение шума, повышение контраста), так и их анализ (пороговую сегментацию, построение графиков динамики изменения площадей яркостных зон струи во времени, и др.). На основе изучения оптической неоднородности струи можно делать вывод о ее качестве и таким образом сравнивать качество распыливания различных видов топлив различными топливными распылителями при различных условиях впрыскивания. Авторы полагают, что данное средство может быть использовано для изучения струй, получаемых не только распылителями дизельных форсунок, но и любых распылителей жидкости, при соответствующей доработке программно-технического комплекса.

#### Список литературы:

1. Разлейцев, Н.Ф. *Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях: монография* / Н.Ф. Разлейцев. – Харьков: Вища школа, 1980. – 169 с. 2. Шароглазов, Б.А. *Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов [Текст] : учебник* / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 344 с. 3. ГОСТ 10579-88.

Форсунок дизелей. Общие технические условия. – Введ. 1990-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 8 с. 4. Орлов, В.Л. *Основы физики дисперсных материалов: учебное пособие* / В.Л. Орлов, Ю.Б. Кирста, А.В. Еськов, А.В. Орлов. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – 98 с. 5. *Камера скоростной видеосъемки «ВидеоСпринт» // Видеоскан [Электронный ресурс]: [сайт] / ЗАО НПК «Видеоскан». Электрон. дан. – М., 2012. – Режим доступа: <http://videoscan.ru/page/731>. – Загл. с экрана. 6. Хуанг, Т.С. *Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений* / Т.С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г.Дж. Нусбаумер и др. – М.: Радио и связь, 1984. – 221 с. 7. *Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В.А. Соiffera. – М.: Физматлит, 2001. – 784 с. 8. Павлидис, Т. *Алгоритмы машинной графики и обработки изображений* / Т. Павлидис. – М.: Мир, 1981. – 84 с.**

#### Bibliography (transliterated):

1. Razlejcev, N.F. *Modelirovanie i optimizacija pro-cessa sgoranija v dizeljah: monografija* / N.F. Razlejcev. – Har'kov: Viwa shkola, 1980. – 169 s. 2. Sharoglavov, B.A. *Dvigateli vnutrennego sgoranija: teorija, modelirovanie i raschet processov [Tekst] : uchebnik* / B.A. Sharoglavov, M.F. Farafontov, V.V. Klement'ev. – Chelja-binsk: Izd-vo JuUrGU, 2004. – 344 s. 3. GOST 10579-88. *Forsunki dizelej. Obwie tehicheskie uslovija. – Vved. 1990-01-01. – M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2004. – 8 s. 4. Orlov, V.L. *Osnovy fiziki dispersnyh mate-rialov: uchebnoe posobie* / V.L. Orlov, Ju.B. Kirsta, A.V. Es'kov, A.V. Orlov. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2005. – 98 s. 5. *Kamera skorostnoj videos#emki «VideoSprint» // Videoskan [Elektronnyj resurs]: [sajt] / ZAO NPK «Videoskan». Jelektron. dan. – M., 2012. – Rezhim dos-tupa: <http://videoscan.ru/page/731>. – Zagl. s jekrana. 6. Huang, T.S. *Bystrye algoritmy v cifrovoy obrabotke izobrazhenij* / T.S. Huang, Dzh.-O. Jeklund, G.Dzh. Nus-sbaumer i dr. – M.: Radio i svjaz', 1984. – 221 s. 7. *Meto-dy komp'juternoj obrabotki izobrazhenij / pod red. V.A. Soiffera. – M.: Fizmatlit, 2001. – 784 s. 8. Pavli-dis, T. *Algoritmy mashinnoj grafiki i obrabotki izo-brazhenij* / T. Pavlidis. – M.: Mir, 1981. – 84 s.***

УДК 621.436

**В.С. Вербовский, инж.**

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАПАЛЬНОЙ ДОЗЫ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ГАЗОДИЗЕЛЯ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

#### Постановка задачи

Газодизели могут успешно работать на различном газовом топливе: на сжатом природном газе, на попутных газах нефтяных и газовых месторождений, на шахтном метане, на биогазе. Проведенный анализ [1, 2, 4] показывает, что эффективным средством улучшения топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов во всем диапазоне нагрузок двигателя является обеспечение оптимального количества воздуха, определяющего условия совместного сгорания газозудной смеси и распыленного дизельного топлива в условиях переменного давления и объема, характерных для поршневых двигателей. Эффективность использования газового топлива в газодизелях, в

первую очередь, зависит от совершенства применяемых на них систем автоматического управления и регулирования. Несмотря на давно известные достоинства газодизелей, они до сих пор не получили широкого применения в качестве приводных двигателей для газодизельных электростанций.

Целью проведенного экспериментального исследования являлось повышение экономичности газодизеля за счет уменьшения величины запальной дозы дизельного топлива и оптимизации сгорания двухтопливной смеси. Для достижения поставленной цели необходимо было установить порог минимальной запальной дозы дизельного топлива, обеспечивающий надежное воспламенение газозудной смеси в цилиндрах и устойчивую