

КПД. Увеличение NOx возможно снизить добавкой метанола в БТ.

#### Список литературы:

1. Осетров О. О. Поліпшення техніко-економічних показників дизеля 4С12/14, що працює на біопаливах: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. тех. наук: спец. 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» / О. О. Осетров. – Харків, 2005. – 20 с. 2. Status and Development of Biodiesel Production and Projects in Europe / Werner Korbitz // SAE Techn. Pap. Ser. – 1995. – № 952768. – pp. 249–254. 3. Motorprozessverhalten und Abgasemissionen alternativer Kraftstoffe im Vergleich mit Dieselmotoren / H. Harndorf; U. Schümann, V. Wichmann, C. Fink // MTZ. – 2008. – No 07–08. – S. 640–646. 4. Alkoholische Biokraftstoffe als Beimischungskomponente für konventionelle und alternative Dieselmotoren / Y. Kaack, C. Weiskirch, P. Eilts // MTZ. – 2009. – No 07–08. – S. 588–595. 5. Cheung C. S. Regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with biodiesel and biodiesel blended with methanol / C. S. Cheung, Lei Zhu, Zhen Huang // Atmospheric Environment. – 2009. – №43. – pp. 4865–4872. 6. Баев В. К. О кумулятивном механизме развития высоконапорной топливной струи / В. К. Баев., А. А. Бузук., А. Н. Бажайкин, Б. П. Тимошенко // Двигателестроение. – 1981. – №2. – С. 8–12. 7. Колодницька Р. В. Моделювання

розпилювання біодизельного палива на основі конопляної олії / Р. В. Колодницька // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Дала. – 2010. – №6 (148) – С. 41–46.

#### Bibliography (transliterated):

1. Osetrov O. O. Polipshennja tehniko-ekonomichnih pokaznikiv dizelja 4Ch12/14, wo praouje na biopalivah: avtoref.dis. na zdobuttja stupenja kand. teh. nauk: spec. 05.05.03 «Dviguni ta energetichni ustanovki» / O. O. Osetrov. – Har'kiv, 2005. – 20 s. 2. Status and Development of Biodiesel Production and Projects in Europe / Werner Korbitz // SAE Techn. Pap. Ser. – 1995. – № 952768. – pp. 249–254. 3. Motorprozessverhalten und Abgasemissionen alternativer Kraftstoffe im Vergleich mit Dieselmotoren / H. Harndorf; U. Schümann, V. Wichmann, C. Fink // MTZ. – 2008. – No 07–08. – S. 640–646. 4. Alkoholische Biokraftstoffe als Beimischungskomponente für konventionelle und alternative Dieselmotoren / Y. Kaack, C. Weiskirch, P. Eilts // MTZ. – 2009. – No 07–08. – S. 588–595. 5. Cheung C. S. Regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with biodiesel and biodiesel blended with methanol / C. S. Cheung, Lei Zhu, Zhen Huang // Atmospheric Environment. – 2009. – №43. – pp. 4865–4872. 6. Baev V. K. O kumuljativnom mehanizme razvitija vysokonapornoj toplivnoj strui / V. K. Baev., A. A. Buzukov., A. N. Bazhajkin, B. P. Timoshenko // Dvigatelistroenie. – 1981. – №2. – S. 8–12. 7. Kolodnic ka R. V. Modeljuvannja rozpiljuvannja biodizel'nogo paliva na osnovi konopljanoi olii / R. V. Kolodnic ka // Visnik Shidnoukraïns kogo na-cional'nogo universitetu im. V.Dalja. – 2010. – №6 (148) – S. 41–46.

УДК 621.43:662.6

*А.В. Иващенко, асп., В.Н. Горячкин, канд. техн. наук*

## ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ КАПЕЛЬ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ВЫХОДЕ ИЗ ФОРСУНКИ

### Введение

Рост энергетических потребностей человечества, наблюдаемый в последние годы, влечет за собой увеличение загрязнения окружающей среды, истощение энергоресурсов и может привести к энергетическому кризису. Активные поиски альтернативных видов топлива, которые могли бы использоваться в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) и соответствовали условиям полного сгорания с максимальным выделением теплоты, ведутся во многих странах мира [1].

Вместе с тем теплофизические и физико-химические свойства традиционных нефтяных и альтернативных топлив отличаются, что приводит к изменению рабочих характеристик оборудования. Так, например, согласно [2] параметры факела распыленного топлива (угол раскрытия, длина, дальность, размер образованных капель) зависят от плотности, вязкости, поверхностного натяжения топлива, на котором работает двигатель. Процесс воспламенения и сгорания топлива также зависит

от его состава, теплоты сгорания, скорости образования паров, определяемой давлением насыщения, теплопроводности, диффузии. Результаты исследования свойств смеси дизельного топлива и рапсового масла приведены в [3].

Данная работа посвящена исследованию влияния свойств биотопливной смеси (ТС), состоящей из рапсового масла (РМ) и дизельного топлива (ДТ), на дисперсный состав топливного факела, образующегося на выходе из форсунки дизельного двигателя.

### Постановка задачи исследований

Проведение исследований по распыливанию топлива, а особенно, по определению размеров и количества капель, является сложной и трудоемкой задачей. Существуют различные методы для ее решения: микрокиносъемка капли в факеле [4], фотометрический метод [5], впрыскивание расплавленного парафина с последующим замораживанием капель и просеиванием их через сита [6], сидентометрический метод [7], улавливание капель

глицерином, маслом, смесью масла с вазелином [8] и др. Все эти методы, требуют сложного оборудования и значительных затрат и не всегда могут быть применены при работе с биотопливными смесями.

Исходя из этого, задачами исследований были:

- поиск метода и создание экспериментальной установки для определения дисперсности распыленного топлива, пригодного для работы с биотопливными смесями;

- получение экспериментальных данных о размерах капель дизельного топлива и его смесей с рапсовым маслом.

#### Методика и результаты исследований

Для определения дисперсности распыленной топливной смеси была адаптирована методика, разработанная в [2]. Схема экспериментальной установки показана на рис.1.

Установка состоит из бака с топливом 1, фильтра тонкой очистки 2, ручного насоса высокого давления 3 с аккумулятором 4, форсунки 5 и шторного механизма 6 с установленной за ним предварительно закопченной стеклянной пластиной. Для измерения температуры топлива в баке был установлен термометр 7. Давление впрыска контролировалось манометром 8.

Топливная смесь из топливного бака через фильтр самотеком поступала к ручному насосу высокого давления, откуда через аккумулятор подавалось на форсунку.

Распыливание осуществлялось форсункой двигателя СМД-1800 1410.1112010 производства ЧЗТА, имеющей три сопловых отверстия диаметром по 0,28 мм.

В шторном механизме предусмотрено входное отверстие диаметром 15 мм с возможностью крепления за ним стеклянных пластин размером 35x75мм предварительно покрытых слоем окиси магния, создающей белый фон, а затем слоем керосиновой копоти толщиной 0,15...0,3 мм.

Капли, попадая на стеклянные пластины, пробивали слой копоти, оставляя четкие отпечатки, как показано на рис 2. Согласно [9] при используемой толщине сажи размер отпечатка соответствовал размеру капель. Отсекание капель проводилось вручную при помощи кратковременного (~0,01 с) открытия шторного механизма. Продолжительность впрыска не фиксировалась. Она была достаточно длинной в сравнении со временем улавливания

капель.

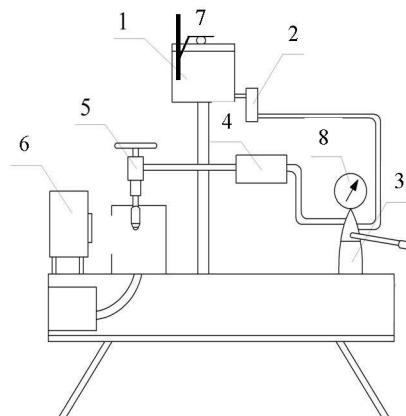


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения дисперсности распыла

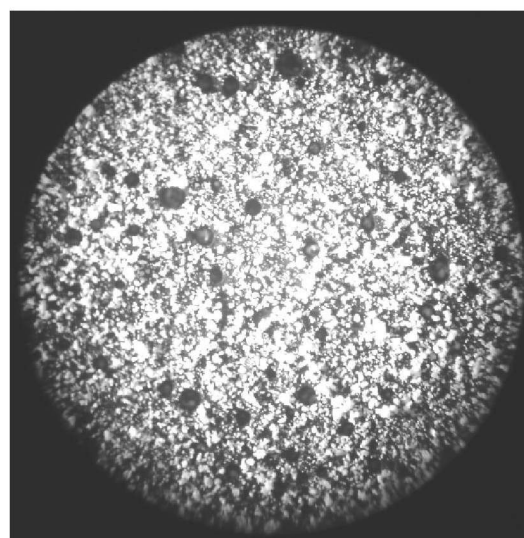


Рис. 2. Отпечатки капель ТС на стеклянной пластине, покрытой слоем керосиновой копоти

Перед получением каждого отпечатка определялось атмосферное давление и температура воздуха в помещении. Все приведенные результаты получены при атмосферном давлении 744 мм рт. ст. и температуре воздуха 20 °С. Давление впрыска оставалось постоянным и равным 20,5 МПа.

После улавливания капель на пластину, последняя извлекалась из шторного механизма, после чего при помощи микроскопа Биолан Д-11 с координатным столиком определялись размеры капель. Для этого использовалось два типа линз: с 54-кратным увеличением со встроенной измерительной шкалой с ценой делений 15 мкм, и с 90-кратным увеличением, используемым при фотографировании.

Фотографирование производилось в режиме макросъемки при помощи фотоаппарата Olympus FE310 с разрешающей способностью 8,1 млн. пиксе-

лей. При этом линза подбиралась так, чтобы дисторсия от фотоаппарата отсутствовала полностью. Пластина устанавливалась таким образом, чтобы ось микроскопа проходила по средней линии пластины. На полученном снимке выделялся участок 10x10 мм, которой при обработке отпечатков разбивался на 25 одинаковых частей. Размер отпечат-

ков определялся путем их сравнения с медной проволокой диаметром 0,15 мм. На рис. 3 показан пример снимка, полученного для ТС, состоящей из 30 % РМ и 70 % ДТ. Для повышения точности определения размеров отпечатков, фотоснимки подвергались векторизации на ЭВМ (рис. 3).

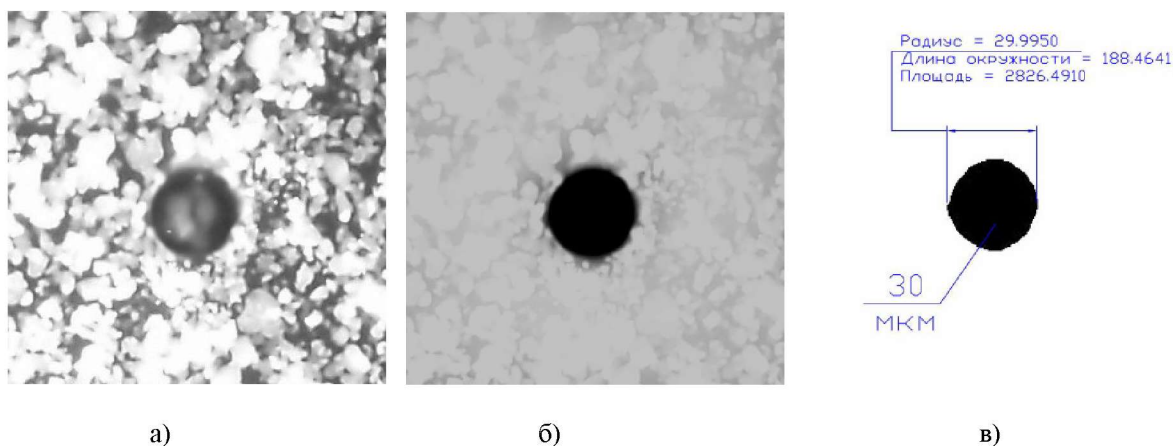


Рис. 3. Определение диаметра капель M90:1

а - исходный вид; б – после векторизации и увеличения контрастности; в – очистка от шумов

Такая их обработка позволила получить размеры с инструментальной точностью до  $\pm 1,8$  мкм. При обработке измерялись все отпечатки, находящиеся в поле зрения микроскопа, за исключением отпечатков от капель диаметром менее 3 мкм, оставивших на поверхности слоя окиси магния едва заметный след. Обработка снимков проводилась в соответствии с методикой, описанной в [10, 11].

После обработки полученных отпечатков был определен средний объемно-поверхностный диаметр капель. Данные о количестве обработанных фотоснимков, полученных отпечатков и размерах капель приведены в таблице 1.

При использовании чистого рапсового масла с температурой 20 °С форсунка распыл не производила.

По полученным данным с использованием однопараметрического распределения, предложенного в [12], были построены кривые частот распределения капель по размерам. Функции распределения объема (массы) капель по диаметру в этом случае имеют вид:

- дифференциальная

$$VD = \frac{2}{3\pi} \alpha^4 d^3 K_1(\alpha d);$$

- интегральная

$$V = \frac{2\alpha^4}{3\pi} \int_{d_{\min}}^{\infty} d^3 K_1(\alpha d) dd,$$

где  $K_1(\alpha d)$  - функция Бесселя,  $\alpha = \frac{3\pi}{4d_{32}}$  - параметр, определяемый по среднему объемно-поверхностному диаметру. Результаты построения функций распределения приведены на рис. 4, 5.

Таблица 1. Результаты обработки фотоснимков полученных отпечатков и размеров капель

Содержание РМ в ТС, %	Количество обработанных		Объемно-поверхностный диаметр капель, мкм	Погрешность, мкм
	фотоснимков	отпечатков		
0	35	4250	33	$\pm 4$
20	36	2888	35	$\pm 4$
30	36	1606	39	$\pm 4$
40	35	2732	45	$\pm 6$

Также были определены модальный  $d_{\text{мод}} = \frac{2,387}{\alpha}$ , медианный  $d_{\text{мед}} = \frac{3,05}{\alpha}$  и условный

максимальный диаметр  $d_{\max} = \frac{7}{\alpha}$ , для которого

максимального диаметров от состава ТС показана на рис. 6.

$V(D)=0,95$ . Зависимость модального, медианного и

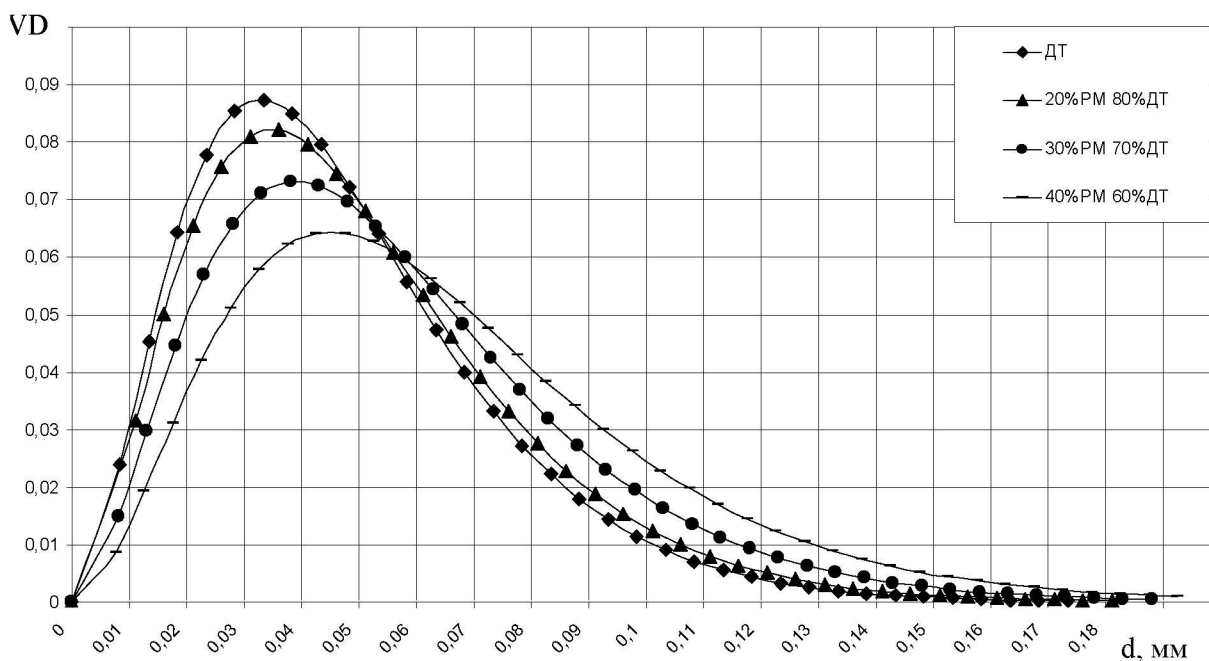


Рис. 4. Дифференциальная характеристика распыливания топлива

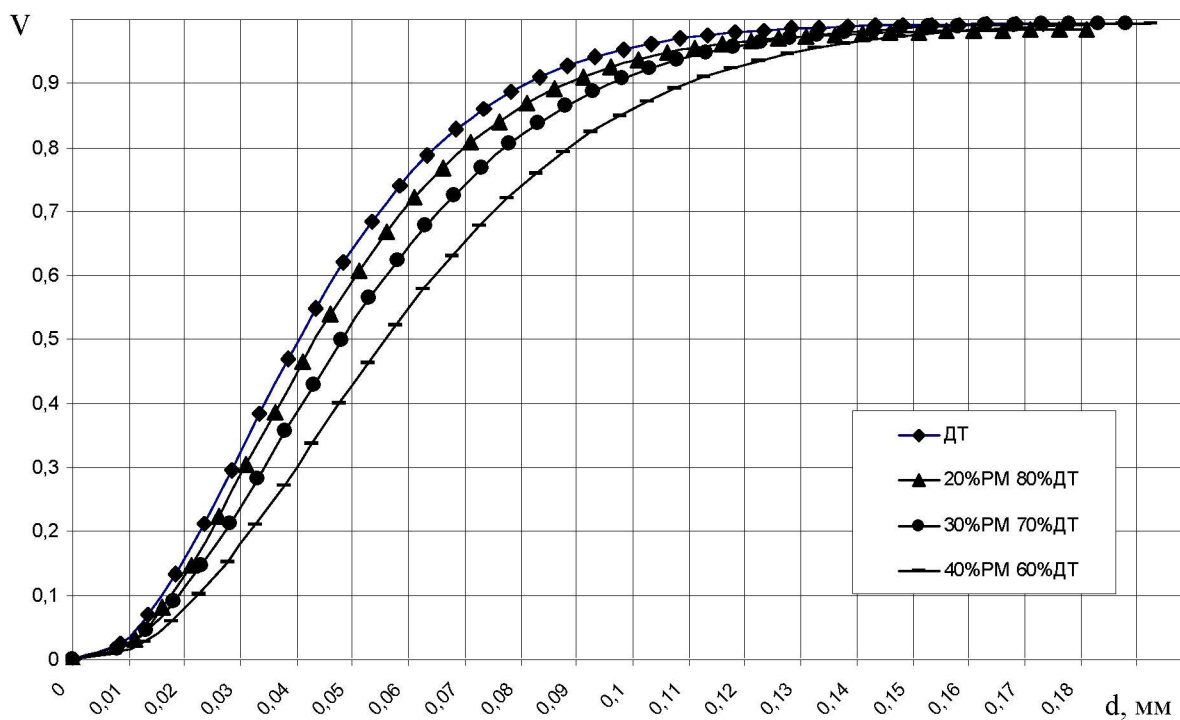


Рис. 5. Интегральная характеристика распыливания топлива

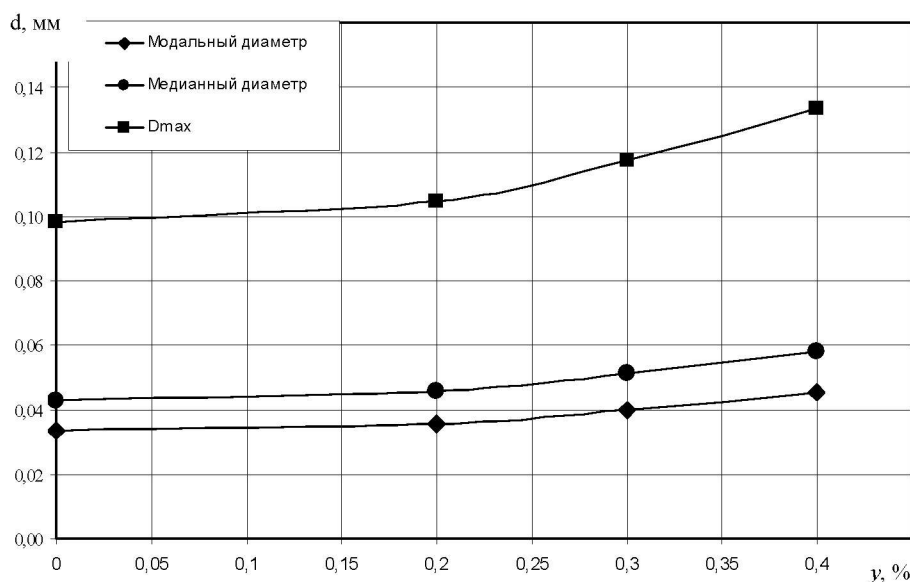


Рис. 6. Зависимость модального, медианного и максимального диаметров от состава топливной смеси

### Выводы

1. Адаптация метода отпечатков, предложенного в [4] для экспериментального определения размеров капель дизельного топлива, выполненная в данной работе, позволяет определить размер образующихся капель при использовании биотопливных смесей, состоящих из дизельного топлива и рапсового масла.

2. При сохранении давления подачи биотопливных смесей увеличение доли рапсового масла в смеси приводит к росту размера образующихся капель. Это приводит к уменьшению удельной поверхности, замедлению испарения топлива, и, как следствие, к ухудшению смесеобразования. Исходя из свойств биотопливных смесей [4], одним из возможных решений, позволяющих избежать ухудшения характеристик смесеобразования, является их предварительный подогрев.

3. Полученные данные о зависимостях размеров капель могут быть использованы для усовершенствования топливной аппаратуры при работе на биотопливных смесях, а также при математическом моделировании процесса смесеобразования.

### Список литературы:

1. Марков В. А. Рапсовое масло как альтернативное топливо для дизеля / В. А. Марков, А. И. Гайворонский, С. Н. Девянин и др. // *Автомобильная промышленность*. - 2006. - № 2. - С. 1-3. 2. Лышевский А. С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками / А. С. Лышевский. - М.: Машиностроение, 1963. - 180с. 3. Иващенко А. В. Экспериментальное исследование теплофизических и физико-химических свойств биодизельного

топлива / А. В. Иващенко, В. Н. Горячкин // *Вісник Дніпропетровського національного ун-ту залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна*. - 2011. - №36. - С. 36-41. 4. В. А. Карачинов Телевизионные методы диагностики форсунок / В. А. Карачинов, С. В. Ильин, С. Б. Торцигин, Д. В. Карачинов // *Вестник Новгородского гос-го ун-та*. - 2004. - №26. - С. 155-160. 5. Файнлейб Б. Н. Методы испытаний и исследований топливной аппаратуры автотракторных дизелей / Б. Н. Файнлейб, И. Г. Голубков, Л. А. Колчев. - М.: Машиностроение, 1965. - 176с. 6. Витман Л. А. Распыливание жидкости форсунками / Л. А. Витман, Б. Д. Кальцельсон, И. И. Палеев.; под ред. С. С. Кутателадзе. - М.: Энергоиздат, 1962. - 264с. 7. Подача и распыливание топлива в дизелях; под ред. И. В. Астахова. - М.: Машиностроение, 1972. - 359с. 8. Кутовой В. А. Впрыск топлива в дизелях / В. А. Кутовой. - М.: Машиностроение, 1981. - 119с. 9. Панасенов Н. С. О влиянии турбулентной жидкой струи на распыливание / Н. С. Панасенов. - *ЖТФ*, - 1951. - XXI. - №2. - С.1012-1020. 10. Журавлев А. В. Распознавание групповых мало-размерных объектов на изображениях в условиях минимальной априорной информации о природе объектов / А. В. Журавлев, С. И. Иваишов, В. В. Разевиг // *Тр. 50-й науч. практ. конф. МФТИ, Ч. 3. - Аэрофизика и космические исследования, Т.1. - М.: Долгопрудный*. - 2007. - С. 35-36. 11. Костюк Ю. Л. Алгоритмы векторизации цветных растровых изображений на основе триангуляции и их реализация / Ю. Л. Костюк, А. Б. Кон, Ю. Л. Новиков // *Вестн.ик Томск. гос. ун-та*. - 2003. - №280. - С. 275-280. 12. Братута Э. Г. Диагностика капельных потоков при внешних воздействиях / Э. Г. Братута. - Х.: Вища шк., 1987. - 144с.

### Bibliography (transliterated):

1. Markov V. A. Rapsvoe maslo kak al'ter-nativnoe toplivo dlja dizelja / V. A. Markov, A. I. Gajvoronskij, S. N. Devjanin i dr. // *Avtomo-bil'naja promyshlennost'*. - 2006. - № 2. - S. 1-3. 2. Lyshvskij A. S. Processy raspylivanija topliva dizel'nymi forsunkami / A. S. Lyshvskij. - M.: Mashinostroenie, 1963. - 180s. 3. Ivashenko A. V. Jeksperimental'noe is-sledovanie teplofizicheskikh i fiziko-himicheskikh svojstv biodizel'nogo topliva / A. V. Ivashenko, V. N. Gorjachkin // *Visnik Dnipro-petrovs'kogo nacional'nogo un-tu*

zaliznichnogo transportu im. akad. V. Lazarjana. - 2011. - №36. - S. 36-41. 4. V. A. Karachinov *Televizionnye metody diagnostiki for-sunok* / V. A. Karachinov, S. V. Il'in, S. B. Toricin, D. V. Karachinov // *Vestnik Novgorodskogo gos-go un-ta.* - 2004. - №26. - S. 155-160. 5. Fajnljeb B. N. *Metody ispytanj i is-sledovanij toplivnoj apparatury avtotrak-tornyh dizelej* / B. N. Fajnljeb, I. G. Golubkov, L. A. Kolchev. - M.: Mashinostroenie, 1965. - 176s. 6. Vitman L. A. *Raspylivanie zhidkosti forsunkami* / L. A. Vitman, B. D. Kal'cnel'son, I. I. Paleev.; pod red. S. S. Kutateladze. - M.: Jenergoizdat, 1962. - 264s. 7. *Podacha i raspylivanie topliva v dize-ljah*; pod red. I. V. Astahova. - M.: Mashino-stroenie, 1972. - 359s. 8. Kutovoj V. A. *Vprysk topliva v dize-ljah* / V. A. Kutovoj. - M.: Mashinostroenie, 1981. - 119s. 9. Panasenov N. S. *O vlijanii turbulentnoj zhidkoj strui na*

*raspylivanie* / N. S. Panase-nov. - *ZhTF*, - 1951. - HHI. - №2. - S.1012-1020. 10. Zhuravlev A. V. *Raspoznvanie gruppyh malorazmernih ob#ektov na izobrazhenijah v uslovijah minimal'noj apriornoj informacii o prirode ob#ektov* / A. V. Zhuravlev, S. I. Iva-shov, V. V. Razevig // *Tr. 50-j nauch. prakt. konf. MFTI, Ch. 3. - Ajerofizika i kosmicheskie issle-dovanija, T.1.* - M.:Dolgoprudnyj. - 2007. - S. 35-36. 11. Kostjuk Ju. L. *Algoritmy vektoriza-cii cvetnyh rastrovyh izobrazhenij na osnove trianguljacii i ih realizacija* / Ju. L. Kostjuk, A. B. Kon, Ju. L. Novikov // *Vestnik Tomsk. gos. un-ta.* - 2003. - №280. - S. 275-280. 12. Bratuta Je. G. *Diagnostika kapel'nyh potokov pri vnesnih vozdeystvijah* / Je. G. Bra-tuta. - H.: Viwa shk., 1987. - 144s.

УДК 621.436

А.Е. Свистула, д-р техн. наук, Г.Д. Матиевский, инж.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ

### Постановка задачи исследования

Использование дизеля как первичного двигателя для привода «всережимных» электрических генераторов в гибридных энергетических установках и развитие электронных систем управления открывает возможность получения заданной мощности на оптимальном, по расходу, топлива скоростном режиме и позволяет добиться существенной экономии топлива.

Для выбора оптимального режима работы энергетической установки с дизелем необходимо располагать оптимизационными характеристиками дизеля и потребителя (генератора).

В рамках данной статьи будем рассматривать оптимизационную скоростную характеристику дизеля (ОСХД). Под ОСХД будем понимать зависимость частоты вращения коленчатого вала от мощности, построенной в абсолютных или относительных величинах, и обеспечивающей наименьший расход топлива для заданного значения мощности.

Подобная характеристика объединяет оптимальные по расходу топлива режимы работы двигателя, принадлежащие характеристикам постоянной мощности (ХПМ). Последние представляют зависимость эффективного расхода топлива (и других показателей) от частоты  $n$  при условии поддержания заданного постоянного значения мощности двигателя.

В работах [1, 2] предложен поиск оптимальной частоты  $n_{opt}$  на ХПМ, основанный на предположении наличия минимума удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  или максимума КПД  $\eta_e$  на

типовой нагрузочной характеристике при (0,7-0,8)  $N_{e ном}$  для любой частоты  $n$  в диапазоне ее изменения от номинальной  $n_{ном}$  до  $n_m$ , соответствующей максимальному крутящему моменту. Поиск  $n_{opt}$  сводился к определению частоты, для которой при заданном значении мощности  $N_{e const}$  загрузка двигателя составляет (70-80) % по отношению к мощности на внешней скоростной характеристике (ВСХ). Такой подход предопределил поиск  $n_{opt}$  для мощностей меньших (0,7-0,8)  $N_{e ном}$ . Для значений мощностей от номинальной до (0,7-0,8)  $N_{e ном}$  оптимальная частота принималась равной  $n_{ном}$ , т.е. работа дизеля осуществляется по нагрузочной характеристике на номинальной частоте с уменьшающимся расходом топлива  $g_e$  (рис. 1).

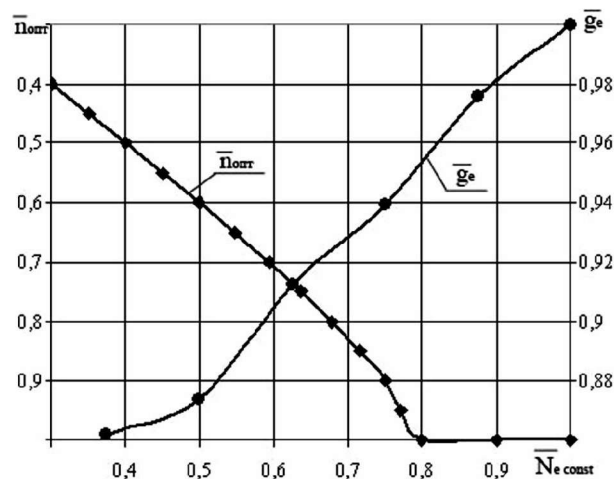


Рис. 1. Зависимости оптимальной частоты  $n_{opt}$  и потенциального снижения расхода топлива от мощности  $N_{e const}$