

УДК 621.1-1/-9  
DOI: 10.31992/0321-4443-2021-2-16-20

## ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ ОЦЕНКИ МОТОРНЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

### DETERMINATION OF THE OPTIMAL COMPOSITION OF MIXED FUEL BASED ON ENVIRONMENTAL INDICATORS OF DIESEL ENGINE

**С.А. ПЛОТНИКОВ**, д.т.н.  
**П.В. ГНЕВАШЕВ**

Вятский государственный университет (ВятГУ), Киров,  
Россия, PlotnikovSA@bk.ru

**S.A. PLOTNIKOV**, Dsc in Engineering  
**P.V. GNEVASHEV**

Vyatka State University, Kirov, Russia, shamilvb@mail.ru

Альтернативное моторное топливо – это смесь различных углеводородов и их соединений. Основу моторного топлива составляют нафthenовые, парафиновые и ароматические углеводороды. Эксплуатационные характеристики топлива зависят от его компонентного состава. При разработке методов контроля характеристик топлив основной проблемой является их многокомпонентность, так как каждый компонент вносит свой вклад в эксплуатационные характеристики. Эксплуатационными же характеристиками являются: цетановое число, содержание серы, водорастворимых кислот и щелочей, низшая теплота сгорания и некоторые другие. Для их определения в настоящее время производят сжигание дизельного топлива и последующий анализ продуктов сгорания. Недостатком существующего метода является то обстоятельство, что невозможно оперативно контролировать топливо по месту эксплуатации, будь то нефтебаза, бензоколонка, технологическая труба или топливный бак транспортного средства.

При проектировании анализаторов и измерительных приборов используют корреляционные зависимости, которые связывают величину эксплуатационного свойства топлива с его физико-химическими характеристиками. Учитывая применение различных видов альтернативных топлив с широким спектром их эксплуатационных свойств, возникает проблема быстрой и точной предварительной оценки указанных свойств. Наряду с дизельным топливом, для оценки воспламеняемости альтернативных топлив предложено использовать аналогичные физико-химические методы.

**Ключевые слова:** двигатель, альтернативное топливо, экспресс анализ, эксплуатационные свойства.

**Для цитирования:** Плотников С.А., Гневашев П.В. Экспресс-методы оценки моторных свойств дизельных топлив // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 2. С. 16–20. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-2-16-20.

Alternative motor fuel is a mixture of various hydrocarbons and their compounds. Motor fuel is based on naphthenic, paraffinic and aromatic hydrocarbons. The performance characteristics of the fuel depend on its composition. When developing methods for monitoring the characteristics of fuels, the main problem is their multicomponent nature, since each component contributes to the operational characteristics. The operational characteristics are: cetane number, sulfur content, water-soluble acids and alkalis, lower heat of combustion and some others. To determine them, the combustion of diesel fuel (DF) and the subsequent analysis of the combustion products are carried out. The disadvantage of the existing method is the fact that it is impossible to quickly control the fuel at the place of operation, at a tank farm, a gas station, a process pipe or a vehicle fuel tank.

When designing analyzers and measuring instruments the correlation dependences, which link the value of the operational property of the fuel with its physicochemical characteristics, are used.

Taking into account the use of various types of alternative fuels (AT) with a wide range of their operational properties, the problem of a quick and accurate preliminary assessment of these properties arises. Along with diesel fuel, it is proposed to use similar physicochemical methods to assess the flammability of alternative fuels.

**Keywords:** engine, alternative fuel, express analysis, performance.

**Cite as:** Plotnikov S.A., Gnevashev P.V. Determination of the optimal composition of mixed fuel based on environmental indicators of diesel engine. Traktory i sel'khoz mashiny. 2021. No 2, pp. 16–20 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-2-16-20.

## Введение

Большая часть автотракторной техники работает на двигателях внутреннего сгорания, которые бывают, как бензиновые, так и дизельные. Дизельные двигатели обладают рядом существенных преимуществ перед бензиновыми. Это – и топливная экономичность, и меньшее содержание оксидов углерода и несгоревших углеводородов в отработавших газах (ОГ), так как дизельные двигатели большую часть времени работают на бедных смесях. Кроме того, дизельные двигатели обладают большей мощностью при меньшей частоте вращения коленчатого вала.

Дополнительным преимуществом дизелей перед бензиновыми двигателями является их хорошая адаптация к работе на топливах с разными физико-химическими свойствами. Поэтому альтернативные топлива (АТ) проще реализуются на базе дизельных двигателей. Работа дизеля на смесях дизельного топлива (ДТ) с бензинами и керосинами возможна при внесении в конструкцию двигателя некоторых изменений. Также в дизелях, по сравнению с двигателями с принудительным воспламенением (искровыми), происходит эффективнее сгорание и тяжелых, и легких топлив при высоких степенях сжатия и больших коэффициентах избытка воздуха.

Наиболее важными показателями качества ДТ, которые влияют на показатели двигателя, являются цетановое число и кинематическая вязкость.

Цетановое число (ЦЧ) – важнейший показатель, характеризующий воспламеняемость дизельного топлива. Данный показатель дает информацию о периоде задержки воспламенения топливной смеси. Цетановое число (ЦЧ) определяет быстроту запуска и тяговые параметры двигателя, жесткость рабочего процесса, расход топлива, полноту сгорания смеси и дымность отработавших газов. Чем выше ЦЧ топлива, тем медленнее происходит нарастание давления и мягче работает двигатель. Но при превышении оптимального значения цетанового числа ухудшается экономичность двигателя, в среднем на 0,2–0,3 % на единицу цетанового числа, а также повышается дымность ОГ на 1–1,5 единицы Хартриджа. Цетановое число определяет скорость предварительного окисления топлива в камере сгорания (КС) двигателя, что ускоряет воспламенение смеси, а следовательно, и быстроту запуска

двигателя. Это особенно важно при условиях низких температур.

Вязкость ДТ характеризует его подвижность, величину внутреннего трения и силу взаимного сцепления молекул. Вязкость оказывает решающее влияние на первую стадию смесеобразования – распыливание в цилиндре двигателя, дальнобойность струи, четкость начала и конца подачи топлива форсункой [1]. С увеличением вязкости топлива возрастает сопротивление топливной системы, уменьшается степень наполнения насоса. При предельном значении вязкости потери напора становятся настолько большими, что топливная струя разрывается, нарушается нормальная подача топлива к насосу, и он начинает работать с перебоями. Топливо с невысокой вязкостью хорошо распыливается, однако, при слишком малой вязкости оно подтекает через распыливающие отверстия форсунок, что приводит к их закоксовыванию [2]. Из-за слабого напора струи камера сгорания заполняется неравномерно, топливо сгорает рядом с распылителем форсунки, что затрудняет процесс сгорания и снижает мощность двигателя. Кроме того, качество работы и износ плунжерных пар зависит от вязкости и чистоты дизельного топлива, так как смазываются им. На вязкость влияет углеводородный состав топлива и температура окружающей среды. Топливо становится более вязким при снижении температуры и наоборот.

В настоящее время в качестве альтернативы товарного дизельного топлива применяется большое количество других источников энергии, к которым относятся газы промышленного и природного происхождения, спирты, растительные масла, аммиак и некоторые другие виды [3–5].

Тем не менее, из большого числа алифатических спиртов только метанол и этанол нашли применение в качестве моторных топлив. Этанол (этиловый спирт, винный спирт, метилкарбинол, часто просто «спирт») – одноатомный спирт, имеющий молекулярную формулу  $C_2H_5OH$  или  $CH_3-CH_2-OH$ , второй представитель гомологического ряда одноатомных спиртов. Этанол и метанол имеют практически одинаковые антидетонационные свойства. В связи с меньшей коррозионной активностью по отношению к резинотехническим изделиям и металлам, меньшей токсичностью и более высокой теплотворной способностью этанол

получил в мире большее распространение, чем метанол.

В качестве моторных топлив применяются соевое, подсолнечное, арахисовое, хлопковое, пальмовое, рапсовое и другие растительные масла. Среди них особенно выделяют рапсовое масло, так как рапс неприхотлив и относительно зимостоек. Поэтому получение топлива на основе рапсового масла считается перспективным. Исследования возможности применения рапсового масла в качестве топлива (как в чистом виде, так и в смеси с дизельным топливом) показали ряд негативных последствий в работе дизельного двигателя. А именно: ухудшается запуск двигателя при низких температурах, происходит потеря мощности, снижается срок службы топливной аппаратуры, нарушается работа выпускных клапанов двигателя и процесс сгорания топлива в камере сгорания, моторное масло полимеризуется и т.д. Предприятиям, эксплуатирующим свои дизели с применением жидких АТ, очень важно заблаговременно оценивать интенсивность и характер влияния эксплуатационных свойств новых топлив на показатели работы механизмов и систем ДВС.

### Цель исследований

Анализ существующих методов безмоторной оценки эксплуатационных свойств дизельных и альтернативных топлив.

### Материалы и методы

Наряду с химическими и физико-химическими методами определения качества нефтепродуктов в последнее время уже используются современные физические методы. Однако ни один из современных методов не позволяет с исчерпывающей полнотой определить показатели качества топлива. Лишь комбинируя методы определенным образом, можно решить эту задачу. Перспективным направлением разработки приборов, с точки зрения оперативного контроля, является электромагнитная техника, объединяющая в себе электродинамику, оптоэлектронику, спектрометрию [6], а также акустику и магнитооптику, не применяющиеся в настоящее время при исследовании топлива.

При проектировании анализаторов и измерительных приборов используют корреляционные зависимости, которые связывают величину эксплуатационного свойства топлива с его физико-химическими характеристиками.

В настоящее время существуют разработки, которые позволяют без сжигания топлива определять характеристики его самовоспламенения. Ведущим в этой области исследований является Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева (СГАУ) [6]. Для определения цетанового числа дизельных топлив сотрудниками СГАУ были созданы и запатентованы специальные приборы. Приборы созданы на основе корреляционной зависимости между диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  и цетановым числом  $Z$  (рис. 1).

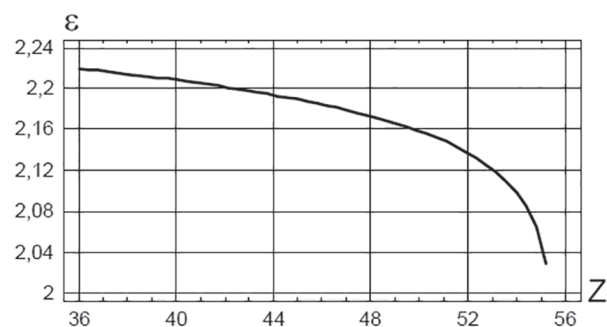


Рис. 1. График зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  дизельного топлива от цетанового числа  $Z$  при температуре 20 °C (по данным [3])

Fig. 1. The graph of the dependence of the dielectric constant  $\epsilon$  of diesel fuel on the cetane number  $Z$  at a temperature of 20 °C (according to [3])

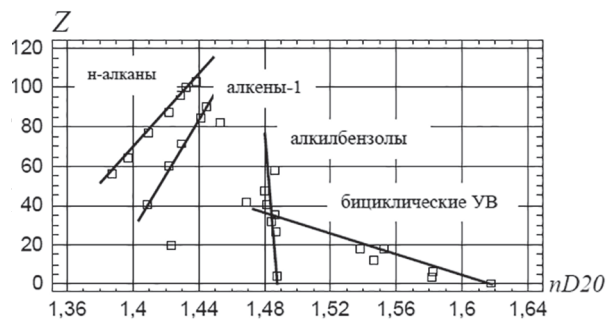


Рис. 2. Зависимость между цетановым числом  $Z$  основных групп углеводородов и показателем преломления  $n_D^{20}$

Fig. 2. The relationship between the cetane number  $Z$  of the main groups of hydrocarbons and the refractive index  $n_D^{20}$

Показатель преломления  $n_D^{20}$  (рис. 2) можно измерить погружным рефрактометром AtagoPenRi, показанным на рис. 3.

Показатель преломления индивидуальных алкилбензолов почти не влияет на их цетановое число. Это может быть учтено при введении в корреляционное соотношение для опи-

сания цетанового числа индивидуальных алкилбензолов магнитооптического бензольного индекса BIN, который возрастает с уменьшением цепи алкильного заместителя при фенольном кольце.



Рис. 3. Погружной рефрактометр AtagoPenRI

Fig. 3. Immersion refractometer AtagoPenRI

В работе [9] было показано, что цетановое число зависит от анилиновой точки, которая имеет удовлетворительные статистические характеристики, и для ее получения использованы данные по 257 образцам дизельных топлив.

При стандартной погрешности в  $\pm 1,6$  цетановых единиц коэффициент корреляции составил  $r = 0,903$ .

Так как анилиновые точки и магнитооптические бензольные индексы связаны, то было использовано линейное соотношение для описания цетановых чисел:

$$Z = A + B \cdot \text{BIN} + C \cdot n_D^{20}. \quad (1)$$

Несмотря на то что показатель преломления  $n_D^{20}$  содержит вклад ароматических углеводородов, включение магнитооптического бензольного индекса BIN в корреляционную зависимость (1) все равно позволяет влиять на оценки вкладов в то или иное эксплуатационное свойство парафино-нафтенных и ароматических углеводородов. Это включение осуществляется посредством варьирования соотношения между коэффициентами перед  $n_D^{20}$  и BIN, при том что бензольный индекс BIN зависит только от содержания ароматических углеводородов. На рис. 4 представлена корреляционная связь цетановых чисел  $Z$  с бензольным индексом и показателем преломления дизельных топлив.

Анализ известных данных подтверждает, что значение ЦЧ для чистого дизельного топлива можно оперативно и с достаточной точностью определять указанными методами.

### Результаты и обсуждение

В соответствии с вышеизложенным справедливо предположить, что существуют

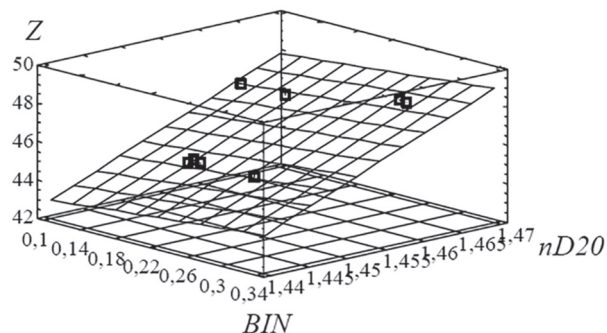


Рис. 4. Корреляционная связь цетановых чисел  $Z$  с бензольным индексом и показателем преломления дизельных топлив

Fig. 4. Correlation of cetane numbers  $Z$  with benzene index and refractive index of diesel fuels

аналогичные корреляционные зависимости цетанового числа  $Z$  от диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , от показателя угла преломления  $n_D^{20}$ , бензольного индекса BIN и других важнейших свойств для альтернативных топлив на базе смеси дизельного топлива с растительными маслами или спиртами.

Используя данные, полученные нами в процессе физического эксперимента на полномасштабном двигателе, возможно предположить нахождение устойчивых корреляционных зависимостей между важнейшими показателями процесса сгорания, топливной экономичности дизеля, эмиссией основных токсичных компонентов и различными составами использованных жидких АТ.

### Выводы

1. Эксплуатационные показатели ДВС напрямую зависят от моторных и физико-химических свойств применяемых топлив.
2. Перспективным исследованием в области применения альтернативных видов топлива является безмоторная оценка их эксплуатационных свойств с помощью физико-химических экспресс-методов.

### Литература

1. Итинская Н.И. Кузнецов Н.А. Топлива, масла и технические жидкости. Справочник. М.: Агропромиздат, 1989. 303 с.
2. Никифоров А.Н. Научные основы использования топлива и смазочных материалов в сельском хозяйстве. М.: ВО Агропромиздат, 1987. 248 с.
3. Плотников С.А. Улучшение эксплуатационных показателей дизелей путем создания новых альтернативных топлив и совершенствования

топливоподающей аппаратуры: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Н. Новгород, 2011.

4. Плотников С.А., Карташев А.Н., Смольников М.В., Черемисинов П.Н. Расширение много-топливности автотракторного дизеля при использовании альтернативных топлив // Известия МГТУ «МАМИ», 2019. № 3 (41). С. 66–72.
5. Плотников С.А., Кантор П.Я., Втюрина М.Н. Проблемы и перспективы расширения много-топливности ДВС // Инновационное развитие агропромышленного комплекса как фактор конкурентоспособности: проблемы, тенденции, перспективы: коллективная монография: в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. д-ра пед. наук Е.С. Симбирских. Киров, 2020. С. 327–336.
6. Скворцов Б.В. Электрофизические устройства контроля качества углеводородных топлив. Самара: Изд-во Самарского гос. аэрокосм. ун-та им. акад. С. П. Королева, 2000. 264 с.
7. Николаев В.Ф., Кутушев И.Р., Хамедзянов А.К. // Вестник Казан.технол. ун-та. 2003. № 2. С. 302–313.
8. Кутушев И.Р., Николаев В.Ф., Диаров И.Н., Варшавский О.М. Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий: сборник материалов XV Всероссийской межвузовской конференции, 2003, 20–22 мая 2003 г. Часть II. Казань: Михайловский военный артиллерийский университет.
9. Ladommatos N., Goacher J. // Fuel, 1995, vol. 74, No. 7, pp. 1083–1093.
3. Plotnikov S.A. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh pokazateley dizeley putem sozdaniya novykh al'ternativnykh topliv i sovershenstvovaniya toplivopodavushchey apparatury: avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Improving the performance of diesel engines by creating new alternative fuels and improving fuel supply equipment: Abstract for Dissertation for Degree of DrSc in Engineering]. N-Novgorod, 2011.
4. Plotnikov S.A., Kartashevich A.N., Smol'nikov M.V., Cheremisinov P.N. Expansion of the multi-fuel capacity of an automotive diesel engine using alternative fuels. Izvestiya MGTU «MAMI», 2019. No 3 (41), pp. 66–72 (In Russ.).
5. Plotnikov S.A., Kantor P.YA., Vtyurina M.N. Problems and prospects for expanding the multi-fuel internal combustion engine. Innovatsionnoye razvitiye agropromyshlennogo kompleksa kak faktor konkurentosposobnosti: problemy, tendentsii, perspektivy: Kollektivnaya monografiya [Innovative development of the agro-industrial complex as a factor of competitiveness: problems, trends, prospects: Collective monograph]: v 2 ch. CH. 1. Pod obshch. red. d-ra ped. nauk YE.S. Simbirskikh. Kirov, 2020, pp. 327–336 (In Russ.).
6. Skvortsov B.V. Elektrofizicheskiye ustroystva kontrolya kachestva uglevodorodnykh topliv [Electro-physical devices for quality control of hydrocarbon fuels]. Samara: Izd-vo Samarskogo gos. aerokosm. un-ta im. akad. S. P. Koroleva. 2000. 264 p.
7. Nikolayev V.F., Kutushev I.R., Khamedzyanov A.K. // Vestnik Kazan. tekhnol. un-ta, 2003. No 2, pp. 302–313 (In Russ.).
8. Kutushev I.R., Nikolayev V.F., Diarov I.N., Varshavskiy O.M. Electromechanical and intra-chamber processes in power plants, jet acoustics and diagnostics, devices and methods for monitoring the natural environment, substances, materials and products. Sbornik materialov XV Vserossiyskoy mezhvuzovskoy konferentsii [Collection of materials of the XV All-Russian interuniversity conference]. Chast' II. Kazan': Mikhaylovskiy voyennyi artilleriyskiy universitet 20–22 maya 2003 g. (In Russ.)
9. Ladommatos N., Goacher J. // Fuel, 1995, vol. 74, No. 7, pp. 1083–1093.

## References

1. Itinskaya N.I. Kuznetsov N.A. Topliva, masla i tekhnicheskiye zhidkosti. Spravochnik [Fuels, oils and technical fluids. Reference book]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1989. 303 p.
2. Nikiforov A.N. Nauchnyye osnovy ispol'zovaniya topliva i smazochnykh materialov v sel'skom khozyaystve [Scientific basis for the use of fuels and lubricants in agriculture]. Moscow: VO Agropromizdat Publ., 1987. 248 p.