

**В. Ф. Николаев, И. Р. Кутушев, А. К. Хамедзянов**

**РЕФРАКТО–МАГНИТООПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
РЕАКТИВНЫХ И ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ**

*Предложен способ оценки эксплуатационных и теплотехнических характеристик среднестиллятных топлив – цетановых чисел, максимальной высоты негорящего пламени, нагарного фактора, фактора дымности, люминометрического числа, низшей теплоты сгорания – совокупностью двух оптических методов – линейного магнитного двулучепреломления (эффект Коттона–Мутона) и рефрактометрии. Показана тесная взаимосвязь магнитооптического бензольного индекса (МОБИИ) – относительной константы Коттона–Мутона с известной характеристикой светлых нефтепродуктов – анилиновой точкой.*

Ранее в [1,2,3] на основе метода линейного магнитного двулучепреломления был предложен способ определения суммарного содержания ароматических углеводородов в светлых нефтепродуктах. В данной работе селективная групповая чувствительность метода ЛМД использована для оценки эксплуатационных характеристик среднестиллятных топлив.

*Цетановые числа дизельных топлив.* Дизельное топливо – одно из массовых моторных топлив для наземного (автомобили, тракторы, тепловозы, тягачи и т.д.) и водного транспорта, вырабатываемое в количестве до 28 – 30% от общего количества перерабатываемой нефти. Дизельные топлива используют для двигателей внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия, в соответствии с чем к ним предъявляются определенные требования по воспламеняемости (высокое цетановое число  $Z$ , хорошая испаряемость) [4].

В дизельных двигателях топливо под большим давлением впрыскивается в сжатый и нагретый воздух. Мельчайшие капли топлива переходят в парообразное состояние и распределяются в воздухе. Через некоторое время топливо самовоспламеняется и сгорает.

Для воспламенения дизельного топлива без участия постороннего источника зажигания необходимо, чтобы температура его самовоспламенения была ниже температуры, до которой нагревается сжатый в цилиндрах воздух (500 – 550°C). Наиболее высокую температуру самовоспламенения имеют арены с короткими боковыми цепями ( ~ 600°C), наиболее низкую – алканы [5].

Оценку воспламеняемости дизельных топлив производят сравнением с эталонными топливами или по химическому составу. Наиболее употребителен метод оценки с помощью цетановых чисел. Цетановым числом называют процентное (по объему) содержание цетана (гексадекана)  $C_{16}H_{34}$  в смеси с  $\alpha$ -метилнафталином, эквивалентной по самовоспламеняемости испытываемому топливу при сравнении в стандартных условиях. Цетановое число гексадекана принято равным 100,  $\alpha$ -метилнафталена – 0. Оно определяется на установках типа ИТ9–3М или ИДТ–69. Измерение происходит по методу совпадения вспышек при изменении степени сжатия.

Наивысшими цетановыми числами обладают алканы нормального строения; у разветвленных алканов цетановое число ниже, причем оно уменьшается с увеличением количества боковых цепей. Уменьшается цетановое число и при наличии в молекуле двойной связи. Наихудшие воспламенительные свойства имеют бициклические углеводороды – гомологи нафталина; у гомологов бензола цетановые числа несколько выше. Селективная групповая чувствительность метода линейного двулучепреломления к нежелательным компонентам дизельных топлив – аренам различных классов – позволяет использовать его в качестве простого экспресс-метода при оценке эксплуатационных свойств среднестиллятных топлив.

Нафтенy, представленные циклоалканами и бициклоалканами, по воспламенительным свойствам занимают промежуточное положение между алканами и ароматическими углеводородами. Нормальный запуск и плавная работа дизелей обеспечивается применением топлив с цетановым числом не ниже 45.

Цетановое число, содержание серы, теплота сгорания и эксплуатационные характеристики дизельных топлив оцениваются в настоящее время путем сжигания дизельных топлив с последующим анализом продуктов сгорания. Процесс сжигания исключает возможность оперативного контроля топлива непосредственно на технологической установке, автозаправочной станции, нефтебазе, в технологической трубе и топливном баке транспортного средства.

Наряду с химическими и физико-химическими методами определения качества нефтепродуктов используются современные физические методы. Однако ни один из них не позволяет с исчерпывающей полнотой определить показатели качества топлива. Лишь комбинируя методы определенным образом, можно решить эту задачу.

За основу для разработки анализаторов и измерительных комплексов принимают корреляционные зависимости, связывающие величину эксплуатационного свойства топлив с их физико-химическими характеристиками. Для цетановых чисел известны [6] следующие корреляционные соотношения:

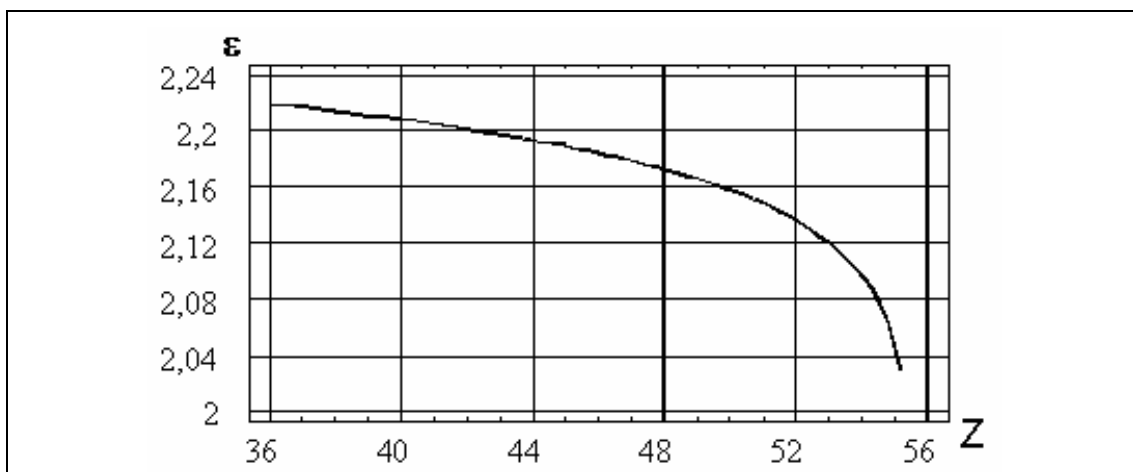
$$Z = 1,5879 (\eta_k + 17,8) / \rho_4^{20}; \quad (1)$$

$$Z = 524 - 20,88\theta - 2605 \rho_4^{20} / \theta, \quad (2)$$

где  $\eta_k$  – вязкость;  $\rho_4^{20}$  – плотность при 20°C;  $\theta = (0,3\theta_{10} + 0,53\theta_{50} + 0,17\theta_{96})^{1/3}$ ;  $\theta$  – характеристическая температура;  $\theta_{10}$ ,  $\theta_{50}$ ,  $\theta_{96}$  – температуры выкипания 10, 50 и 96% топлива соответственно.

Создание приборов для определения цетанового числа на основе измерения вязкости, плотности или характеристик выкипаемости представляется неперспективным в силу трудоемкости автоматизации измерений соответствующих показателей.

В настоящее время известно несколько разработок Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева (СГАУ), позволяющих определять воспламенительные характеристики топлив без сжигания. В основу приборов положены зависимость, связывающая диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  с цетановым числом  $Z$  (рис. 1), а также известные корреляционные зависимости диэлектрической проницаемости от содержания в нефтепродуктах ароматических соединений, наличие которых в бензинах повышает их октановое число  $\Omega$  и, наоборот, наличие которых в дизельных топливах способствует снижению воспламенительных свойств и, соответственно цетановых чисел  $Z$ .



**Рис. 1 – Зависимость относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  дизельного топлива от цетанового числа  $Z$  при температуре 20°C (по данным [6])**

Недостатками приборов, основанных на диэлектрической проницаемости, являются:

- 1) существенная нелинейность характеристики  $Z = f(\epsilon)$  и соответственно различная величина ошибки определения  $Z$  в различных областях измеряемого диапазона;
- 2) чувствительность показаний прибора к присутствию полярных гетероциклических (включая серосодержащих) соединений, приводящих к увеличению диэлектрической проницаемости и занижению реального цетанового числа ;
- 3) применимость прибора только к дизельным топливам, полученным в результате прямой перегонки нефти.

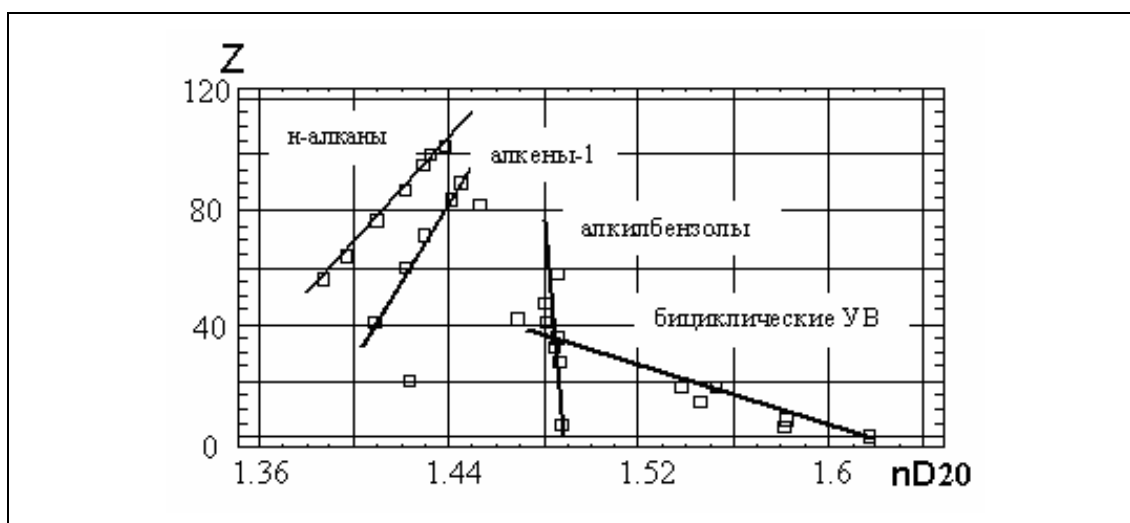
В отличие от представленных ранее корреляционных зависимостей (1) и (2) качество воспламенения дизельного топлива, характеризуемое цетановым числом, лучше описывается функциональной зависимостью цетанового числа от группового углеводородного состава (3) [7]:

$$Z = 0,85 C_{\text{П}} + 0,1 C_{\text{Н}} - 0,2 C_{\text{А}}, \quad (3)$$

где  $C_{\text{П}}$ ,  $C_{\text{Н}}$ ,  $C_{\text{А}}$  – содержание парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов, % мас.

В данной работе предложен метод оценки цетанового числа на основании измерения двух оптических характеристик дизельных топлив, напрямую связанных с их групповым углеводородным составом, величины магнитооптического бензольного индекса BIN, линейно зависимой от содержания ароматических углеводородов  $W_{\text{АР}}$ , и показателя преломления  $n_{\text{D}}^{20}$ , отслеживающего качественно фракционный состав парафинонафтеновых углеводородов. Выбор этих характеристик топлив обусловлен следующими причинами. Как показал анализ литературных данных, для индивидуальных групп углеводородов зависимость цетанового числа от показателя преломления достаточно линейна в широком интервале изменения  $Z$  и  $n_{\text{D}}^{20}$  (рис. 2). Однако если для алканов и алкенов  $Z$  возрастает с увеличением  $n_{\text{D}}^{20}$ , то для бициклических углеводородов, наоборот, убывает. Цетановое число индивидуальных алкилбензолов практически не зависит от их показателя преломления, что может быть учтено введением в

корреляционное соотношение для описания их цетановых чисел магнитооптического бензольного индекса BIN, который убывает с ростом цепи алкильного заместителя при фенильном кольце.



**Рис. 2 - Зависимость цетановых чисел  $Z$  основных групп углеводородов от показателя преломления  $n_D^{20}$**

В работе [8] установлена корреляционная зависимость цетанового числа от анилиновой точки, имеющая удовлетворительные статистические характеристики и для получения которой были использованы данные по 257 образцам дизельных топлив. Коэффициент корреляции ее составил  $r = 0,903$  при стандартной ошибке прогнозирования в  $\pm 1,6$  цетановые единицы:

$$Z = 9,6493 + (0,11381APP) + (0,000927APP^2), \quad (4)$$

где APP – анилиновая точка<sup>1</sup> дизельного топлива, выраженная в градусах Фаренгейта ( $^{\circ}F$ ). Связь между шкалами Цельсия и Фаренгейта выражается соотношением  $^{\circ}C = (^{\circ}F - 32)/1,8$ .

Поскольку анилиновые точки и магнитооптические бензольные индексы взаимосвязаны, то для описания цетановых чисел было использовано простое линейное соотношение

$$Z = A + B \cdot BIN + C \cdot n_D^{20}, \quad (5)$$

которое применимо для описания и других эксплуатационных свойств при их небольшом размахе варьирования. Совместный анализ данных по цетановым числам дизельных топлив марок ДЛЭЧ–0,05–62, ДТЗ–0,2 и ДЗП–0,2 производства ООО "Киришинефтеоргсинтез", определенным по методу совпадения вспышек, их магнитооптическим бензольным индексам BIN и показателям преломления  $n_D^{20}$  показал наличие хорошей корреляционной связи (рис. 3) между этими величинами. Следует заметить, что, хотя показатель преломления  $n_D^{20}$  и содержит вклад ароматических

<sup>1</sup> Метод анилиновой точки известен также как метод определения содержания ароматических углеводородов в нефтепродуктах.

углеводородов, введение в корреляционное соотношение (5) дополнительно магнитооптического бензольного индекса BIN, зависящего только от содержания ароматических углеводородов, позволяет посредством варьирования соотношения между коэффициентами перед  $n_D^{20}$  и BIN управлять оценками вкладов в то или иное эксплуатационное свойство парафинонафтовых и ароматических углеводородов. Малая величина коэффициента при BIN или близость его к нулю не означает отсутствия вклада ароматических углеводородов, а указывает лишь на то, что их вклад учтен в коэффициенте при показателе преломления  $n_D^{20}$ .

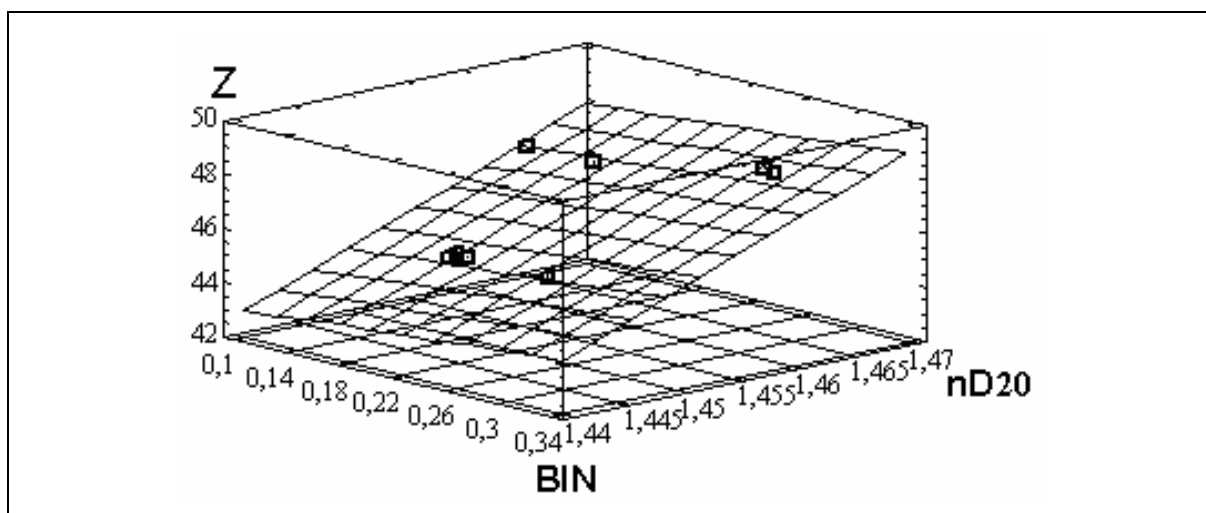


Рис. 3 – 3D–диаграмма зависимости цетановых чисел  $Z$  от бензольного индекса и показателя преломления топлива ( $Z=3,99 \cdot \text{bin} + 163,9 \cdot n_D^{20} - 193,33$ ;  $r = 0,988$ ;  $s = 0,17$ )

Корреляционные соотношения вида (5) хорошо описывают целый комплекс эксплуатационных свойств и реактивных топлив.

**Эксплуатационные и теплотехнические свойства топлив для реактивных двигателей.** Реактивное топливо – основной вид топлива в современной реактивной авиации, вырабатываемый сравнительно недавно (с 50–х годов XX века). К качеству таких топлив предъявляются жесткие требования, регламентируемые ГОСТ.

Требования к показателям качества, характеризующим пригодность реактивных топлив к применению, наиболее полно обеспечиваются определенным химическим составом топлив, в частности максимальным содержанием в них нафтовых и изопарафиновых углеводородов. Важнейшими эксплуатационными свойствами реактивных топлив являются фактор дымности, максимальная высота не коптящего пламени, нагарный фактор и низшая теплота сгорания. Дымление газотурбинных двигателей обуславливается содержанием в продуктах сгорания частиц углерода. Они образуются в результате неполного сгорания углеводородных топлив и протекающих в переобогащенных зонах камеры сгорания при высоких температурах реакций крекинга и пиролиза. Склонность к дымлению индивидуальных углеводородов увеличивается в ряду: нормальные парафины – изопарафины – нафты – олефины – ароматические углеводороды. Определяющим фактором различной склонности к дымлению реактивных топлив является содержание в них ароматических и высококипящих углеводородов.

Содержание ароматических углеводородов в реактивных топливах ограничивается требованиями соответствующих ГОСТ и спецификаций. С целью установления возможности описания характеристик реактивных топлив через магнитооптический бензольный индекс и показатель преломления приведём соотношения, которые были использованы нами для расчета фактора NASA, фактора дымности  $\Phi_d$ , нагарного фактора  $\Phi_n$ , максимальной высоты некоптящего пламени  $h_{пл}$ , люминометрического числа ЛЧ и низшей теплоты сгорания  $Q_n$  [9].

Для оценки склонности топлив к дымлению применяется показатель  $K_\Phi$  (фактор NASA), вычисляемый по уравнению:

$$K_\Phi = 1,26 \cdot (t_{кип} + 351) \cdot \frac{g_n/g_c - 0,207}{g_n/g_c - 0,259}, \quad (6)$$

где  $t_{кип}$  – среднемассовая температура кипения топлива, °C;  $g_n$  и  $g_c$  – содержание водорода и углерода в топливе, % мас.

Фактор ( $K_\Phi$ ) NASA величина безразмерная; она колеблется в интервале 300 – 500. Из уравнения (6) видно, что на величину  $K_\Phi$  также оказывает влияние отношение содержания водорода к содержанию углерода в топливе. Величина этого отношения определяется химическим составом топлива и, в частности, содержанием в топливе ароматических углеводородов. Чем больше ароматических углеводородов в топливе и меньше парафиновых, тем ниже величина отношения содержания водорода к содержанию углерода  $g_n / g_c$ .

Наиболее надежно, по мнению Дубовкина [7], склонность углеводородных топлив к дымлению оценивается фактором дымности  $\Phi_d$ , вычисляемым по уравнению:

$$\Phi_d = \frac{g_c}{g_n} \cdot \rho^2 \cdot \nu^{1,5} \cdot (g_p + 20 g_{нф} + 40 g_A), \text{ усл. ед.}, \quad (7)$$

где  $\rho$  – плотность топлива при 20°C, кг/м<sup>3</sup>;  $\nu$  – кинематическая вязкость топлива при 20°C, мм<sup>2</sup>/с;  $g_c$  и  $g_n$  – содержание углерода и водорода в топливе, % мас.;  $g_p$ ,  $g_{нф}$ ,  $g_A$  – содержание парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов в топливе, % мас.

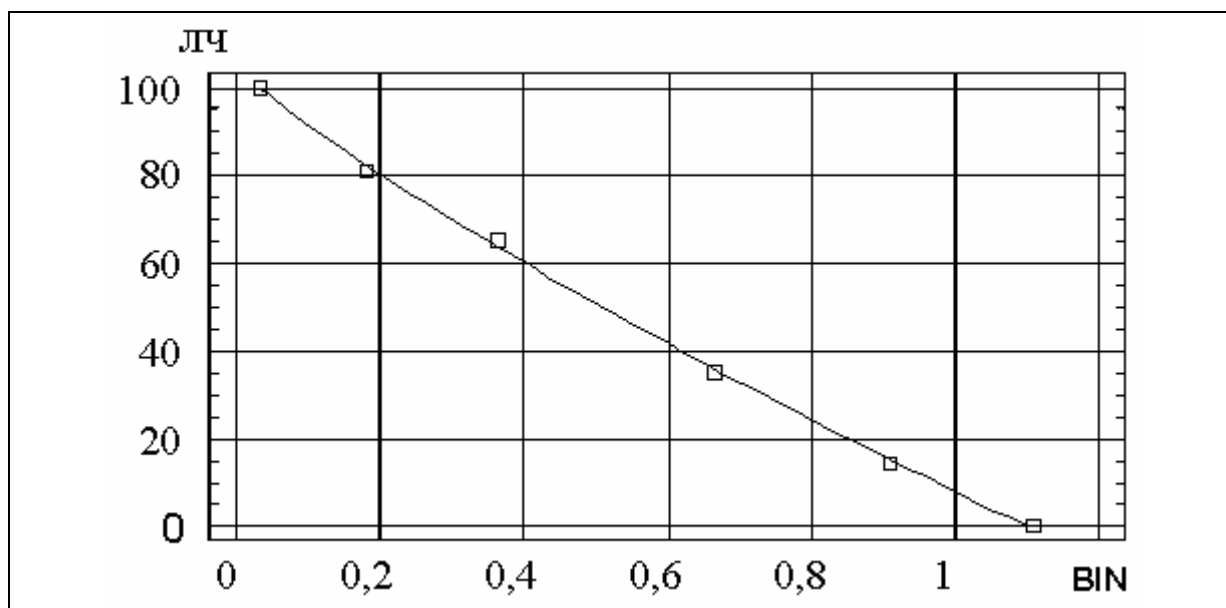
Приведенное соотношение базируется на экспериментальных данных и отражает склонность углеводородных топлив к дымлению в чистом виде. Чем больше  $\Phi_d$  тем топливо более склонно к дымлению.

Нагарный фактор  $\Phi_n$  рассчитывался по соотношению:

$$\Phi_n = \frac{g_c}{g_n} \cdot \rho^2 \cdot 10^{-6} \nu^{1/2} \cdot (g_p + 20 g_{нф} + 40 g_A). \quad (8)$$

**Излучение пламени.** Эта характеристика реактивных топлив определяется температурой и степенью черноты излучающего пламени и включает излучение газообразных продуктов сгорания и конденсированных частиц (сажа, механические примеси). Излучающую способность пламени принято оценивать люминометрическим числом ЛЧ и высотой некоптящего пламени  $h_{пл}$ , определяемыми непосредственно при квалификационных испытаниях топлив. Определение ЛЧ производят на специальном приборе типа ПЛЧТ. Люминометрическое число – показатель, определяемый по температуре газов в фитильной лампе при сжигании испытуемого топлива в сравнении с температурой газа

при сжигании эталонных топлив, получаемых смешением изооктана с тетралином. Люминометрическое число изооктана принято за 100 единиц, а тетралина – за 0 (гептан – 200). На рис. 4 показана зависимость ЛЧ смесей изооктан–тетралин от их магнитооптического бензольного индекса BIN. Излучение продуктов сгорания прямо пропорционально содержанию водорода в топливе. По современным представлениям люминометрическое число реактивных топлив должно быть не менее 50; для отечественных реактивных топлив оно находится на уровне 45–55.



**Рис. 4. Зависимость люминометрического числа ЛЧ эталонных смесей изооктан–тетралин от магнитооптического бензольного индекса BIN (ЛЧ=106,2–98,1\*bin0,82, r=0,999 , s=1,6)**

Склонность углеводородных топлив к дымлению характеризуется максимальной высотой некоптящего пламени. Максимальная высота некоптящего пламени – высота пламени (в мм), достигаемая до появления дыма, при сжигании топлива в стандартизированной лампе при определенных условиях.

При отсутствии экспериментальных данных высоту некоптящего пламени  $h_{пл}$  вычисляют также по уравнению

$$h_{пл} = -25,26 + 2,040 \cdot AP - 555 \lg(10^{-3} \rho) + 7,727 \cdot \rho / AP, \quad (9)$$

где AP – анилиновая точка, °C;  $\rho$  – плотность при 20°C, кг/м<sup>3</sup>.

Величина люминометрического числа топлив оценивалась нами по соотношению

$$ЛЧ = -2308,7 + 3,428\rho + 43,2AP - 0,05719\rho AP - 17,148\rho / AP, \quad (10)$$

где  $\rho$  – плотность топлива при 20°C; кг/м<sup>3</sup>, AP – анилиновая точка, °C.

Важной теплотехнической характеристикой топлив для реактивных двигателей является низшая теплота сгорания  $Q_H$ , описываемая с достаточно высокой точностью соотношением:

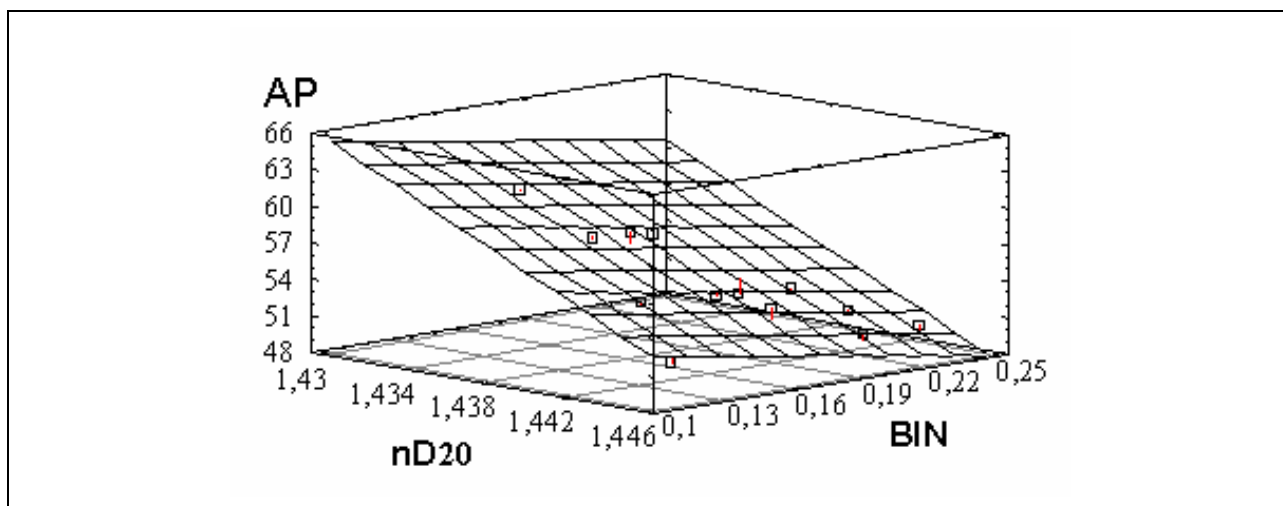
$$Q_H = [9940 + (AP + 17,8) \cdot K] 4,1868, \text{ кДж/кг} \quad , \quad (11)$$

где  $AP$  – анилиновая точка, °C;  $K$  – коэффициент, связанный с плотностью и средней температурной поправкой (ГОСТ 3900–47).

Теплоты сгорания топлив, вычисленные по соотношению (11), приняты во всех спецификациях США и других странах наравне со значениями, определенными экспериментально.

Приведенная краткая сводка экспериментальных и расчетных методов получения характеристик дымности и излучательной способности топлив, а именно, фактора дымности, нагарного фактора, максимальной высоты некоптящего пламени, люминометрического числа и низшей теплоты сгорания показывает, что для достоверной оценки последних требуется знание как минимум отношения водорода к углероду в топливе, а в более детальных корреляциях – групповой углеводородный состав или анилиновая точка, не считая простейших в определении физико–химических характеристик топлив – вязкости и плотности. С целью повышения экспрессности оценок характеристик топлив далее проведен анализ возможности их описания через магнитооптический бензольный индекс  $BIN$  и показатель преломления  $n_D^{20}$ .

В качестве исходных образцов использовано топливо марки ТС–1 производства ООО "Киришинефтеоргсинтез" ("КИНЕФ"). С целью увеличения размаха варьирования изучаемых свойств топлива и "увеличения" числа образцов, необходимых для установления надежных корреляций, в имеющийся усредненный образец топлива искусственно вводились добавки, соответствующие трем основным группам углеводородов, – парафиновые, нафтеновые и ароматические. Углеводороды выбирались по соответствию их температур кипения температурному интервалу кипения ТС–1. В качестве парафиновой добавки использовали декан, нафтеновой – декалин (смесь цис– и трансизомеров) и в качестве ароматической – гексилбензол. Размах варьирования углеводородного состава полученных образцов выбирался таким, чтобы он соответствовал имеющимся нормативам на ТС–1. Исходными данными для установления корреляционных соотношений между эксплуатационными и физико–химическими свойствами топлив были магнитооптические бензольные индексы  $BIN$  и показатели преломления  $n_D^{20}$ , образцов с одной стороны, и их нагарные факторы, факторы дымности, максимальные высоты некоптящего пламени, люминометрические числа и низшие теплоты сгорания, рассчитанные по приведенным выше стандартизованным и общепринятым в специальной литературе соотношениям (6) – (11), с другой стороны. Ранее было показано, что магнитооптический бензольный индекс  $BIN$ , являясь прямой характеристикой суммарного содержания ароматических углеводородов в топливах, может легко заменить в известных корреляционных соотношениях "анилиновую точку". Возможность такой замены подтверждена также наличием хорошей корреляции и для исследованных 15 модельных образцов топлив между их анилиновыми точками  $AP$  и двумя оптическими характеристиками  $BIN$  и  $n_D^{20}$ . 3D–диаграмма, связывающая эти величины приведена на рис.5.



**Рис. 5- 3D-диаграмма зависимости анилиновых точек AP моделей ТС-1 от их оптических характеристик**

Подтвердив наличие зависимости  $h_{пл}$ ,  $K_{\phi}$ ,  $\Phi_d$ ,  $\Phi_H$ ,  $L_{ch}$  и  $Q_H$  от BIN и  $n_D^{20}$  на относительно ограниченном количестве модельных образцов топлив, можно будет перейти к прогнозированию соответствующих характеристик топлив непосредственно на потоке, так как затраты времени на оптические измерения на порядок меньше времени, необходимого на определение анилиновой точки, плотности, температуры кипения, кинематической вязкости, группового углеводородного состава и C/H-соотношения.

В табл. 1 приведены результаты измерений анилиновых точек (ГОСТ 9437–85), кинематических вязкостей (ГОСТ 33–82), плотностей (ГОСТ 3900–47), бензольных индексов и показателей преломления пятнадцати модельных образцов реактивных топлив, а также их рассчитанные эксплуатационные и теплотехнические характеристики. Результаты измерений обрабатывались с помощью программы Statgraphics Plus (версия 5.0). Полученные корреляционные соотношения и их статистические характеристики.

$$r=0,93, S = 2,57; \quad K_{\phi} = -2826,6 + 101,22 \cdot BIN + 2160,1 \cdot n_D^{20}, \quad (12)$$

$$r=0,97, S = 2,51; \quad \Phi_d = -5170,7 + 48,08 \cdot BIN + 3647,7 \cdot n_D^{20}, \quad (13)$$

$$r=0,96, S = 1,77; \quad \Phi_H = -3056,7 + 71,68 \cdot BIN + 2159,61 \cdot n_D^{20}, \quad (14)$$

$$r=0,91, S = 0,36; \quad h_{пл} = 526,9 + 10,48 \cdot BIN - 349,6 \cdot n_D^{20}, \quad (15)$$

$$r=0,94, S = 2,35; \quad L_{ch} = 3324,7 - 89,42 \cdot BIN - 2266,8 \cdot n_D^{20}, \quad (15)$$

$$r=0,96, S = 29,3. \quad Q_H = 99766,8 - 351,46 \cdot BIN - 39234,0 \cdot n_D^{20}, \quad (16)$$

Качество аппроксимации максимальной высоты некоптящего пламени и номограмма для определения  $h_{пл}$  по оптическим характеристикам показаны на рис. 6 и рис. 7.

Файл!!!!!!!!!!

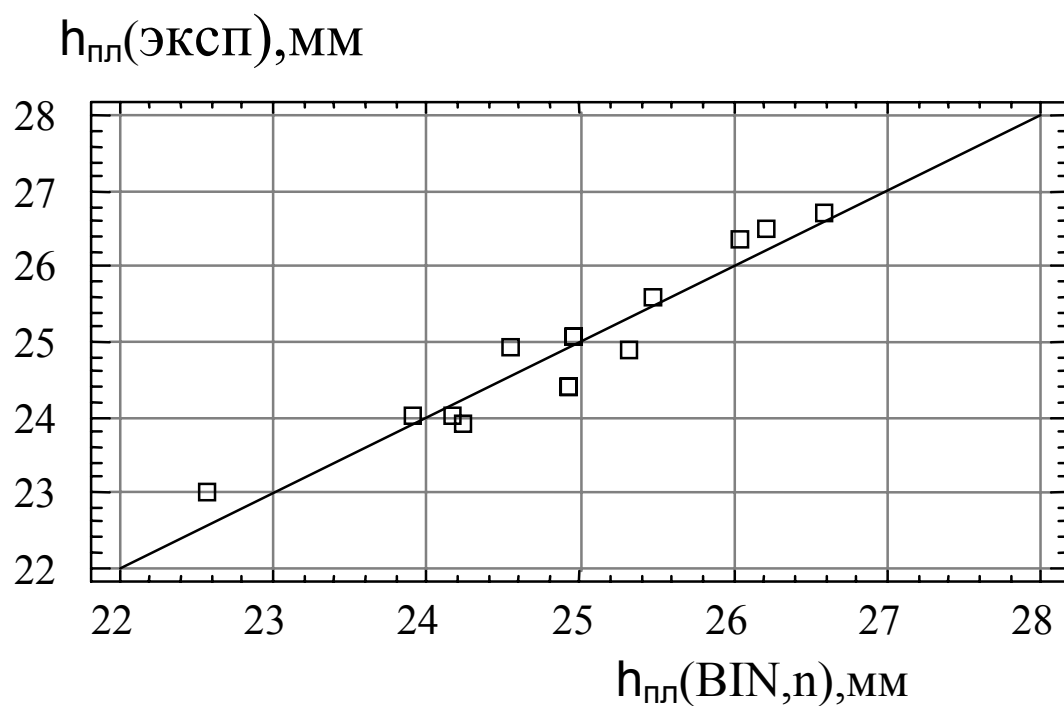
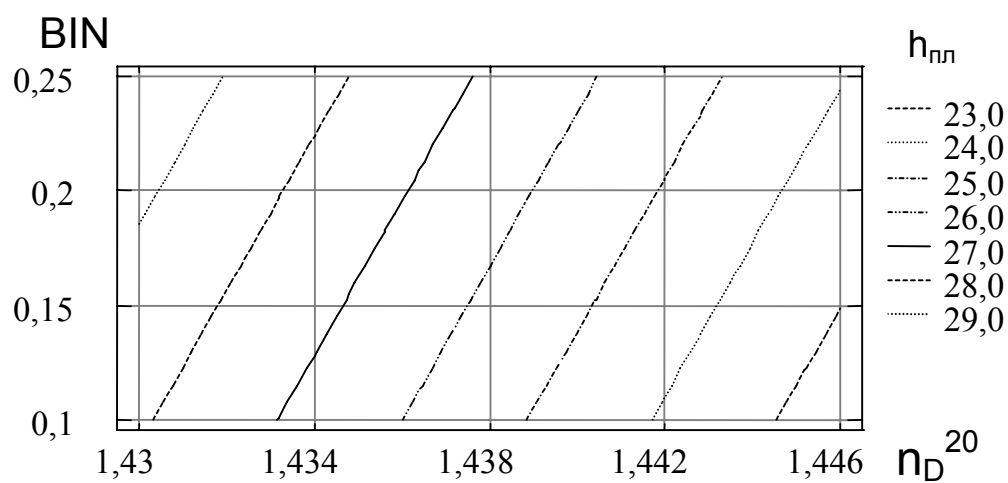


Рис. 5 - Соответствие высот некоптящего пламени, рассчитанных из анилиновых точек (ордината), и рефракто-магнитооптически (абсцисса)



**Рис. 6. Номограмма для определения высоты некоптящего пламени моделей реактивных топлив по оптическим характеристикам.**

Для оценки максимальной высоты пламени неизвестного образца необходимо измерить две его оптические характеристики  $BIN$  и  $n_D^{20}$ , восстановить перпендикуляры против соответствующих значений на осях номограммы и точка пересечения с соответствующей изолинией укажет величину высоты некоптящего пламени.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использованы образцы дизельных топлив марок ДЛЭЧ–0,05–62 , ДТЗ–0,2 и ДЗП–0,2 и топлив для реактивных двигателей марки ТС–1 производства ООО "Киришинефтеоргсинтез".

Гексилбензол, декалин (смесь цис– и транс–изомеров) и декан, использованные для приготовления моделей реактивных топлив, предварительно перегонялись.

Измерения линейного магнитного двулучепреломления проводились на установке, описанной в [1, 3]. Показатели преломления определялись на рефрактометре Пульфриха ИРФ–23 при 20°C и D–линии Na.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе совместного анализа эксплуатационных и теплотехнических характеристик дизельных и реактивных топлив и их оптических свойств – магнитооптических бензольных индексов  $BIN$  и показателей преломления  $n_D^{20}$  получены корреляционные соотношения общего вида  $F = A + B \cdot BIN + C \cdot n_D^{20}$  (где  $F$  – эксплуатационная характеристика топлива,  $r = 0,91 \div 0,97$ ).

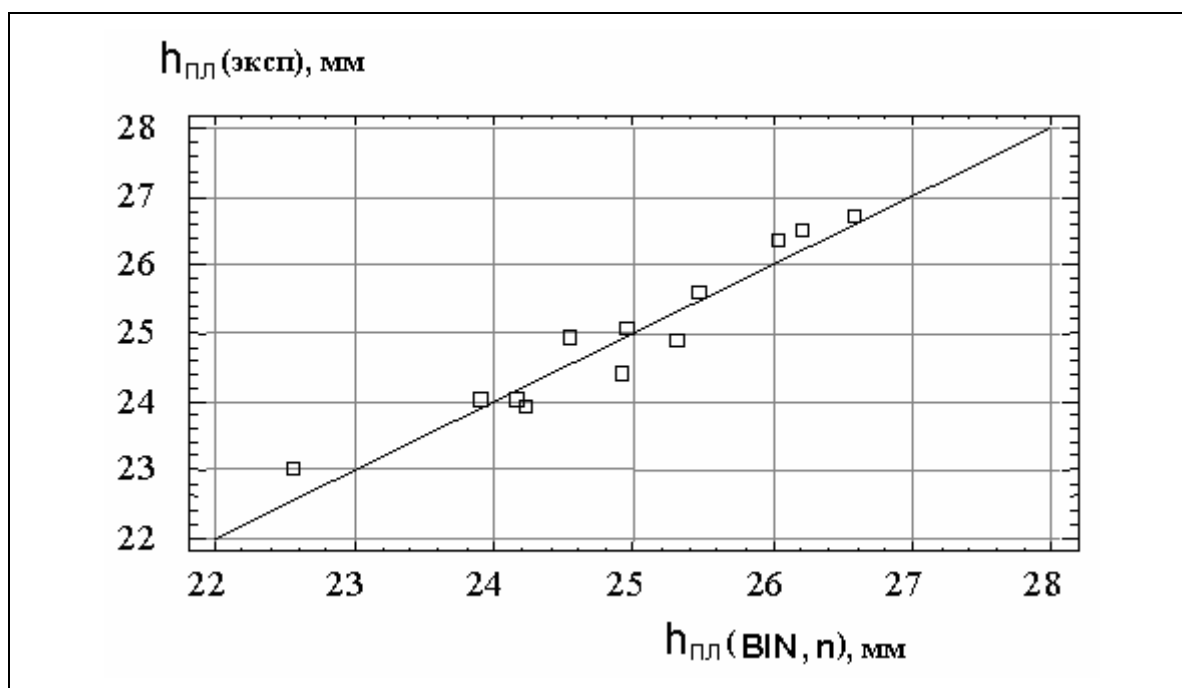
Разработанный рефракто–магнитооптический метод оценки эксплуатационных свойств включен в методическое обеспечение анализатора нефтепродуктов "МОБИН" конструкции ЦКБ "ФОТОН" (г. Казань).

Обеспечение нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий магнитооптическими анализаторами нефтепродуктов позволит существенно сократить затраты на проведение химмотологических испытаний и повысить их экспрессность.

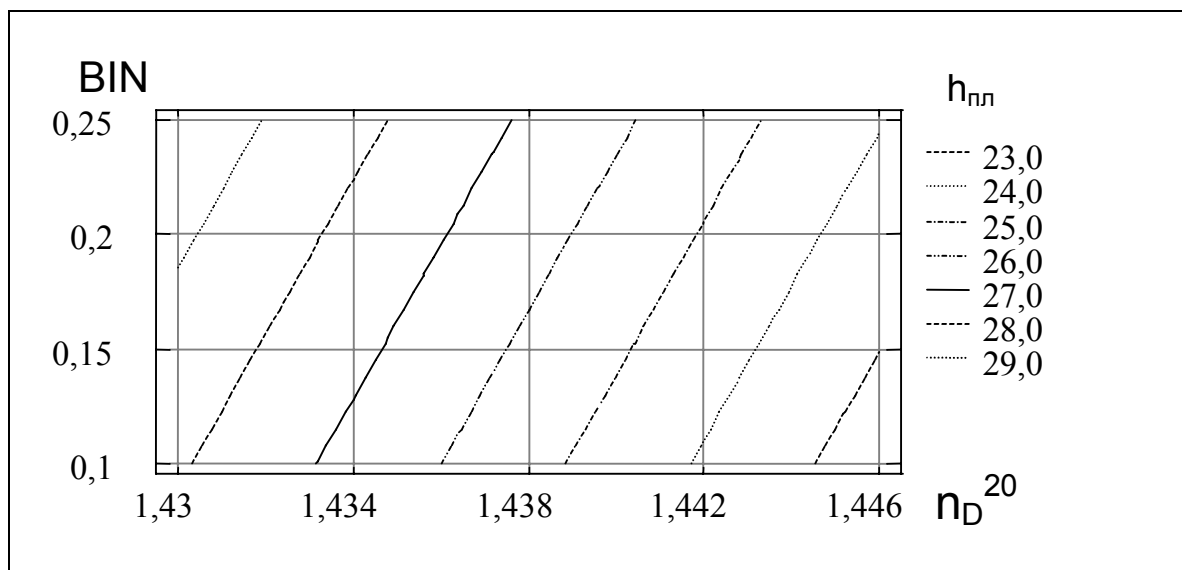
**Таблица 1 - Экспериментальные значения физико–химических свойств реактивных топлив и их характеристики дымности**

| № обр. | AP, °C | $d_4^{20}(\rho)$ , г/см <sup>3</sup> | $n_D^{20}$ | BIN   | $\nu$ , мм <sup>2</sup> /с | h <sub>пл</sub> , мм | K <sub>ф</sub> | Ф <sub>д</sub> | Ф <sub>н</sub> |
|--------|--------|--------------------------------------|------------|-------|----------------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1      | 51,5   | 0,7919                               | 1,4425     | 0,219 | 1,3357                     | 25,1                 | 315            | 102            | 77             |
| 2      | 50,2   | 0,7955                               | 1,4442     | 0,236 | 1,4027                     | 24,9                 | 314            | 108            | 77             |

|    |      |        |        |       |        |      |     |     |    |
|----|------|--------|--------|-------|--------|------|-----|-----|----|
| 3  | 53,0 | 0,7868 | 1,4402 | 0,191 | 1,3431 | 25,6 | 306 | 92  | 68 |
| 4  | 50,8 | 0,8005 | 1,4450 | 0,203 | 1,4744 | 24,0 | 311 | 114 | 77 |
| 5  | 53,8 | 0,7937 | 1,4412 | 0,172 | 1,3734 | 24,4 | 304 | 93  | 68 |
| 6  | 57,1 | 0,7811 | 1,4368 | 0,183 | 1,3316 | 26,7 | 295 | 79  | 59 |
| 7  | 51,7 | 0,8052 | 1,4460 | 0,108 | 1,4749 | 23,0 | 310 | 111 | 76 |
| 8  | 54,7 | 0,7959 | 1,4421 | 0,130 | 1,4226 | 24,0 | 302 | 95  | 67 |
| 9  | 58,3 | 0,7846 | 1,4378 | 0,164 | 1,3504 | 26,3 | 294 | 78  | 58 |
| 10 | 60,7 | 0,7644 | 1,4338 | 0,150 | 1,3945 | 28,1 | 285 | 71  | 51 |
| 11 | 53,8 | 0,7938 | 1,4412 | 0,172 | 1,3734 | 24,4 | 304 | 93  | 68 |
| 12 | 53,3 | 0,7910 | 1,4411 | 0,206 | 1,3661 | 24,9 | 309 | 99  | 72 |
| 13 | 53,2 | 0,7972 | 1,4433 | 0,177 | 1,4100 | 23,9 | 307 | 100 | 71 |
| 14 | 57,4 | 0,7831 | 1,4370 | 0,154 | 1,3478 | 26,4 | 294 | 79  | 59 |
| 15 | 51,5 | 0,7919 | 1,4425 | 0,219 | 1,3357 | 25,1 | 315 | 102 | 77 |



**Рис. 6- Соответствие высот некоптящего пламени, рассчитанных из анилиновых точек (ордината) и рефрактомагнитооптически (абсцисса)**



**Рис. 7 - Номограмма для определения высоты некоптящего пламени моделей реактивных топлив по оптическим характеристикам**

Для оценки максимальной высоты пламени неизвестного образца необходимо измерить две его оптические характеристики -  $BIN$  и  $n_D^{20}$ , восстановить перпендикуляры против соответствующих значений на осях номограммы – и тогда точка пересечения с соответствующей изолинией укажет величину высоты некоптящего пламени.

## Экспериментальная часть

В работе использованы образцы дизельных топлив марок ДЛЭЧ–0,05–62 , ДТЗ–0,2 и ДЗП–0,2 и топлив для реактивных двигателей марки ТС–1 производства ООО "Киришинефтеоргсинтез".

Гексилбензол, декалин (смесь цис– и трансизомеров) и декан, примененные для приготовления моделей реактивных топлив, предварительно перегонялись.

Измерения линейного магнитного двулучепреломления проводились на установке, описанной в [1, 3]. Показатели преломления определялись на рефрактометре Пульфриха ИРФ–23 при 20°C и D–линии Na.

## Заключение

На основе совместного анализа эксплуатационных и теплотехнических характеристик дизельных и реактивных топлив и их оптических свойств – магнитооптических бензольных индексов  $BIN$  и показателей преломления  $n_D^{20}$  получены корреляционные соотношения общего вида  $F = A + B \cdot BIN + C \cdot n_D^{20}$  (где  $F$  – эксплуатационная характеристика топлива,  $r = 0,91 \div 0,97$ ).

Разработанный рефрактомагнитооптический метод оценки эксплуатационных свойств включен в методическое обеспечение анализатора нефтепродуктов "МОБИН" конструкции ЦКБ "ФОТОН" (г. Казань).

Обеспечение нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий магнитооптическими анализаторами нефтепродуктов позволит существенно сократить затраты на проведение химмотологических испытаний и повысить их экспрессность.

### Литература

1. Николаев В.Ф., Дияров И.Н., Султанова Р.Б., Фахрутдинов М.Р., Багаутдинова Д.Б., Катаев В.Е. // Нефтехимия. 2002. Т. 42. №6. С.470-474.
  2. Патент РФ №2163717 / Николаев В.Ф., Дияров И.Н., Стробыкин С.И., Романов Г.В., Султанова Р.Б. Способ определения суммарного содержания ароматических углеводородов в нефтяных фракциях и светлых нефтепродуктах. 2001. БИ №6.
  3. Николаев В.Ф., Дияров И.Н., Кутушев И.Р., Султанова Р.Б., Фахрутдинов М.Р., Катаев В.Е. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2003. №10. Т. 69. С. 21-23.
  4. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа: Учебное пособие для вузов. 2-изд. М.: Химия, 2001. 568 с.
  5. Химия нефти и газа /А.И.Богомолов, А.А.Гайле, В.В. Громова и др. Под ред. В.А. Проскурякова, А.Е. Драбкина. Л.: Химия, 1989. 424 с.
  6. Скворцов Б.В. Электрофизические устройства контроля качества углеводородных топлив. СГАУ им. С.П. Королева. Самара, 2000. 264 с.
  7. Рудин М.Г., Драбкин А.Е., Краткий справочник нефтепереработчика. Л.: Химия, 1980.
  8. Ladamatos N., Goacher J. Equations for predicting the cetane number of diesel fuels from their physical properties. / Fuel. 1995.V. 74. № 7. P. 1083-1093.
  9. Дубовкин Н.Ф., Яновский Л.С., Харин А.А. и др. Топлива для воздушно-реактивных двигателей. М.: МАТИ - РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2001. 443 с.
-