

Раздел III. Моделирование сложных систем

УДК 54.084

Б.А. Соломин, А.М. Низаметдинов

ОПЕРАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНЫХ И АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ

Низкотемпературные свойства определяют прокачиваемость топлив через топливную систему потребителя и их сохраняемость при транспортировке или хранении в условиях низкой температуры. Для оценки низкотемпературных свойств используются такие параметры, как температура помутнения и застывания для дизельных топлив, и температура кристаллизации для авиационных керосинов. Современные автоматизированные анализаторы низкотемпературных свойств являются специализированными и используются либо для анализа дизельных топлив, либо авиационных керосинов. Рассматриваются особенности низкотемпературного поведения авиационных керосинов и дизельных топлив при оперативном определении их низкотемпературных свойств. С учетом обнаруженных особенностей предложено определять низкотемпературные свойства дизельных топлив при охлаждении, а керосинов - при нагревании исследуемой переохлажденной пробы. Предлагаемый способ позволяет разработать универсальный прибор для определения низкотемпературных свойств дизельных топлив и авиационных керосинов. При этом результат измерения низкотемпературных параметров может быть получен в течение 10–15 минут с точностью не хуже $\pm 1,5$ °C.

Аппаратно-программный комплекс; дизельное топливо; авиационный керосин; температура помутнения; температура застывания; температура кристаллизации.

B. A. Solomin, A. M. Nizametdinov

RAPID DETERMINATION OF LOW-TEMPERATURE PROPERTIES OF DIESEL AND AVIATION FUELS

Low-temperature properties of fuels determine their pumpability through the fuel system of a consumer and their preservation during transportation or storage in low temperature conditions. The following parameters are used to define low-temperature properties: cloud and pour point temperatures for diesel fuels, and crystallization temperature for aviation kerosene. Modern automated analyzers of low-temperature properties are special-purpose devices and are used either for the analysis of diesel fuels, or aviation kerosenes. The paper considers peculiarities of low-temperature behavior of aviation kerosenes and diesel fuels during rapid measurement of their low-temperature properties. Taking into account the features found, we propose to determine the low-temperature properties of diesel fuels during cooling of the investigated sample and kerosenes during heating. The method proposed allows us to design a universal instrument for determining the low-temperature properties of diesel fuels and aviation kerosenes. The results of measurements of the low-temperature parameters can be obtained during 10–15 minutes with accuracy better than $\pm 1,5$ °C.

Hardware-software complex; diesel fuel; aviation kerosene; cloud temperature; pour temperature; crystallization temperature.

Введение. Низкотемпературные свойства определяют прокачиваемость топлив через топливную систему потребителя и их сохраняемость при транспортировке или хранении при низкой температуре внешней среды.

Перечень регламентируемых показателей низкотемпературных свойств топлив, оборудование и процедуры их определения задаются отечественным ГОСТ 20287-91.

В соответствии с ГОСТом длительность определения низкотемпературных показателей может превышать полтора часа и требует высококвалифицированного обслуживающего персонала. Это приводит к высокой стоимости определения подобных показателей, а также зависимости результатов измерения от человеческого фактора.

В связи с вышеизложенным, проблема оперативного автоматического определения низкотемпературных свойств топлив является актуальной. Рассмотрим подробнее те низкотемпературные показатели, измерение которых должно быть реализовано в автоматических анализаторах.

Регламентируемыми показателями низкотемпературных свойств дизтоплив в РФ являются температура помутнения T_{Π} и температура застывания T_3 .

Температура T_{Π} характеризуется резким уменьшением оптического пропускания топлива и определяет сохраняемость качества топлива в цистернах и баках при низкой температуре внешней среды. При температурах ниже T_{Π} происходит постепенное расслоение (стратификация) топлива на легкие и тяжелые фракции.

Температура T_3 ограничивает прокачиваемость топлива через фильтры топливной системы за счет роста кристаллов парафинов, содержащихся в топливе. Значительно понизить T_3 можно путем добавления в дизтопливо депрессорных присадок, которые препятствуют образованию крупных кристаллов парафинов, образующих единую связную пространственную решетку и забивающих топливные фильтры [1].

Показателем, характеризующим низкотемпературные свойства авиационных керосинов, является температура начала кристаллизации $T_{НК}$. Она соответствует появлению в керосинах кристаллов низкотемпературных фракций парафинов, которых в керосинах значительно меньше (в процентном отношении), чем в дизтопливах.

Динамика низкотемпературного поведения топлив существенно зависит от скорости их охлаждения и нагрева. Она исследуется фотометрическим, термографическим и вискозиметрическим методами [2–8]. Показана её зависимость от состава топлив, депрессорных присадок и количественного содержания парафинов. Основные исследования проводились на дизельных топливах разного состава, динамика кристаллизация керосинов исследована не достаточно. При низкой концентрации парафинов процессы кристаллизации существенно замедляются, что затрудняет оперативное определение температуры кристаллизации керосинов.

Постановка задачи. Современные автоматизированные анализаторы специализируются либо на анализе дизельных топлив, либо авиационных керосинов. По нашему мнению, учет особенностей динамики низкотемпературного поведения этих групп топлив позволяет создать универсальные анализаторы, в которых реализован одновременный контроль оптических, термографических и вискозиметрических параметров топлив в зависимости от температуры при достаточных высокой скорости её изменения.

Для решения поставленной задачи в УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН был создан анализатор ИРЭН 2.5.

На его базе авторами проводились исследования особенностей низкотемпературного поведения авиационных керосинов и низкотемпературных дизельных топлив [9]. Структурная схема анализатора показана на рис. 1.

Исследуемую пробу нефтепродукта помещают в измерительную кювету (рис. 2), охлаждение и нагрев которой производится с помощью двух ступеней элементов Пельтье (1-я ступень и 2-я ступень). Изменение температуры кюветы осуществляется за счет изменения величины и полярности тока, поступающего на элемент Пельтье второй ступени от устройства управления термомодулем.

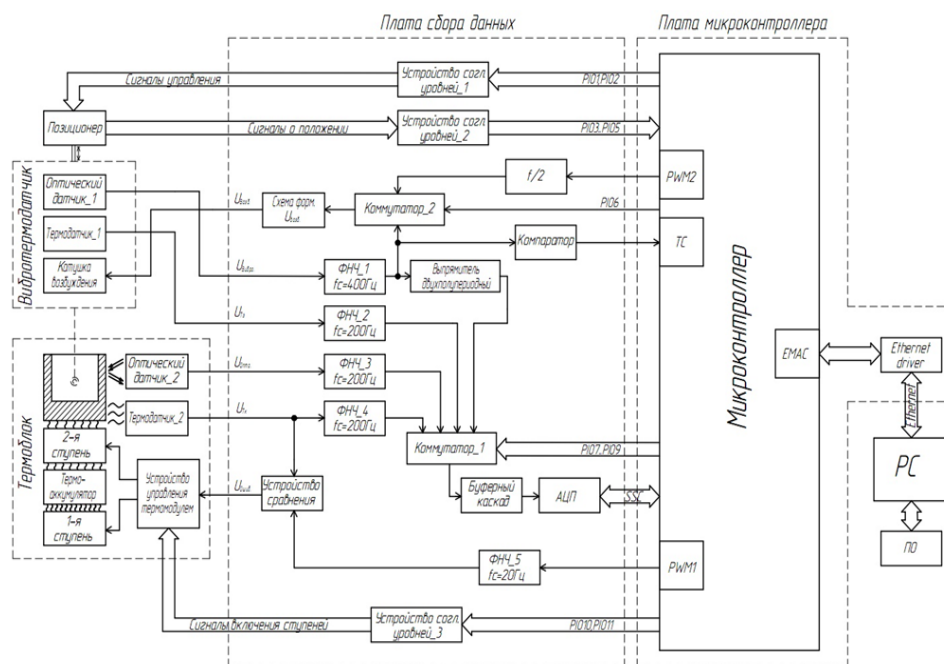


Рис. 1. Структурная схема измерительного блока анализатора ИРЭН 2.5

В качестве сигнала, задающего закон изменения температуры, используется напряжение с выхода широтно-импульсного модулятора (ШИМ, PWM) микроконтроллера.

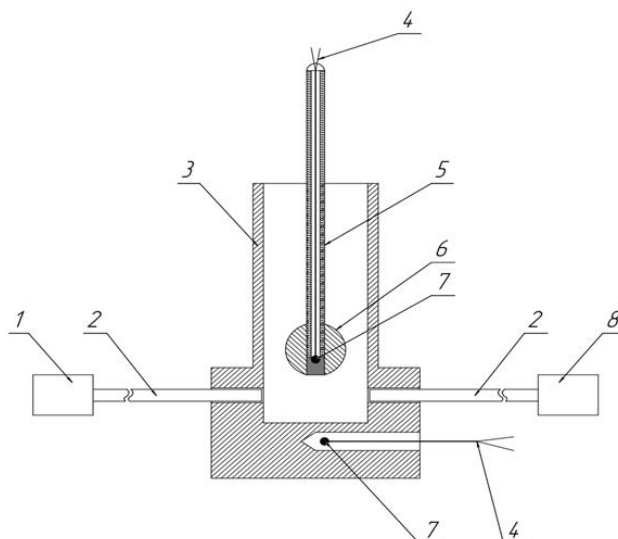
Выходной сигнал ШИМ поступает на устройство сравнения через фильтр нижних частот (ФНЧ₅), обеспечивающий сглаживание пульсаций с частотой модуляции ШИМ. Сигналы с термодатчика₂ и ФНЧ₅ поступают на устройство сравнения, которое вырабатывает сигнал ошибки ($U_{\text{ошиб.}}$), пропорциональный разности сигналов. Поступая на вход устройства управления термомодулями, данное напряжение управляет током через элемент Пельтье и тем самым изменяет температуру кюветы.

Для обеспечения воспроизводимости результатов измерений зонд виброскозиметра погружается в кювету с исследуемой пробой и извлекается из неё с помощью автоматического позиционера, снабжённого датчиком положения и управляемого командами микроконтроллера.

В процессе охлаждения пробы с помощью АЦП измеряются сигналы с вибродатчика ($U_{\text{вibr.}}$), термодатчика зонда (U_{T1}), датчика оптического пропускания жидкости ($U_{\text{опт.}}$) и термодатчика кюветы (U_{T2}). Перед подачей на вход АЦП сигналы проходят предварительную обработку фильтрами нижних частот (ФНЧ₁, ФНЧ₂, ФНЧ₃, ФНЧ₄).

Выбор сигнала для цифрового преобразования осуществляется коммутатором (Коммутатор₁), управляемым микроконтроллером.

Температура помутнения определяется с помощью волоконно-оптического датчика проходного типа, а температуры застывания и начала кристаллизации определяется по сигналам камертонного вибротермодатчика, снабженного миниатюрным сферическим зондом [10]. Конструкция измерительной кюветы представлена на рисунке 2.



- 1 – оптический излучатель; 2 – оптоволоконно; 3 – измерительная кювета;
 4 – константановый и медный проводники термопары;
 5 – стеклянный штوك; 6 – шарик вибротермодатчика;
 7 – измерительные спаи термопары зонда и кюветы; 8 – фотоприёмник

Рис. 2. Конструкция измерительной кюветы с зондом в разрезе

В процессе экспериментов скорость изменения температуры проб составляла $0,3^{\circ}\text{C}/\text{с}$, максимальный диапазон изменения температуры проб составлял $+30^{\circ}\text{C} \div$ минус 75°C . В качестве потенциальных маркеров температур фазовых переходов топлив рассматривались температуры, соответствующие максимумам первой и второй производной вибросигнала по времени. Причем на участке охлаждения пробы определялись температуры зонда, а на участке нагрева пробы определялись соответствующие температуры измерительной кюветы.

Результаты экспериментальных исследований проб сведены в табл. 1. Анализ приведенных экспериментальных результатов показывает, что резкое изменение вязкости керосинов при охлаждении пробы происходит при более низких температурах, чем при нагревании пробы. Это, вероятнее всего, связано с переохлаждением пробы керосина при высокой скорости охлаждения пробы. Наблюдаемая величина переохлаждения составляет от 3 до 5°C . В процессе своего производства керосин проходит тщательную очистку от воды и от большей части парафинов. Благодаря этому в объеме пробы присутствует малое количество центров кристаллизации. В этом случае наилучшую корреляцию с паспортными данными дает маркер 4, определяемый как температура кюветы при нагреве пробы в момент времени, соответствующий максимуму второй производной вибросигнала.

Низкотемпературное поведение дизтоплив существенно отличается от поведения керосинов. В частности, застывание дизтоплив происходит при более высоких температурах, чем их плавление. Это, видимо, связано с тем, что дизельное

топливо не проходит такой тщательной очистки, как керосины, и в объеме его пробы имеются многочисленные центры кристаллизации. Причем присутствующие в пробах различные парафины имеют широкий диапазон температур кристаллизации. Температурная стойкость пространственной сетки кристаллов застывшего дизтоплива определяется, по-видимому, самыми низкотемпературными парафинами, входящими в состав проб [11]. В результате этого в дизельных топливах перед моментом застывания эффект переохлаждения не наблюдается.

Как видно из таблицы 1 наилучшую корреляцию с паспортными данными для дизтоплив дает маркер 2, соответствующий температуре зонда вибровискозиметра во время охлаждения пробы в момент времени, соответствующий максимуму второй производной вибросигнала.

Таблица 1

Результаты экспериментального исследования керосинов и дизельных топлив

Топливо	Температура фазового перехода				Паспортные данные
	Критерий 1 (при охлаждении по зонду)		Критерий 2 (при нагреве по кювете)		
	$ A'_{\max} $ 1	$ A''_{\max} $ 2	$ A'_{\max} $ 3	$ A''_{\max} $ 4	
РТ проба №1	-69,1	-67,7	-64,2	-65,1	Керосин -65 °С
РТ проба №2	-69,9	-68,9	-64,5	-65,2	
РТ проба №3	-69,7	-68,6	-64,5	-65,4	
ТС-1 1 проба	-74,2	-74,2	-68,2	-70,1	Керосин ниже -65 °С
ТС-1 2 проба	-74,2	-74,3	-69,1	-70,1	
ТС-1 3 проба	-74,1	-74,2	-68,8	-70,3	
N22 1 проба	-43,0	-41,9	-42,7	-43,4	ДТ-40 °С
N22 2 проба	-45,1	-42,7	-46,9	-47,8	
N22 3 проба	-43,1	-41,8	-43,7	-44,3	
N60 1 проба	-56,3	-55,2	-58,8	-57,9	ДТ-57,3 °С
N60 2 проба	-56,1	-54,7	-58,0	-58,8	
N60 3 проба	-56,6	-54,8	-57,8	-58,5	

Заключение. Отмеченные особенности низкотемпературного поведения керосинов и дизтоплив позволяют достаточно просто и надежно различать их аппаратно-программными средствами и автоматически выбирать требуемый алгоритм обработки данных. В этом случае появляется возможность создавать универсальные анализаторы низкотемпературных свойств дизтоплив и авиационных керосинов для оперативного исследования температур их фазовых переходов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сафронов А.С., Ушаков А.И., Чечкенов И.В. Автомобильные топлива: Химмотология. Эксплуатационные свойства. Ассортимент. – СПб.: НПИКЦ, 2002. – 264 с.
2. Шишкин Ю.П. Определение температур помутнения и застывания дизельных топлив на фотоколориметре "Фазафот" // Химия и технология топлив и масел. – 2007. – № 4. – С. 48-51.
3. Шишкин Ю.П., Язынина Н.В., Овчар Е.В. Исследование кристаллизации и плавления твердых парафинов фотометрическим и термическим методами // Химия и технология топлив и масел. – 2008. – № 1. – С. 47-50.

4. Чень Бошун, Сунь Юки, Фан Джианьхуа, Ван Джун, Ву Джиан. Низкотемпературные свойства и кристаллическая структура смесей биодизелей // Химия и технология топлив и масел. – 2010. – № 1. – С. 41–44.
5. Чень Хань, Кун Зен, Хуалинь Линь, Пен Ван. Выбор депрессорных присадок для дизельных топлив // Химия и технология топлив и масел. – 2010. – № 5. – С. 18–24.
6. Пепеляев С.Н., Тархов Л.Г., Пепеляев А.С., Рябов В.Г.. Определение оптимальной концентрации депрессорных и диспергирующих присадок в дизельных топливах // Химия и технология топлив и масел. – 2011. – № 5. – С. 54–56.
7. Кондрашова Н.К.. Влияние синтетических и природных депрессорных присадок на низкотемпературные свойства дизельных топлив разного состава // Химия и технология топлив и масел. – 2012. – № 6. – С. 39–40.
8. Агаев С.Г., Глазунов А.М., Гуляев С.В., Яковлев Н.С.. Улучшение низкотемпературных свойств дизельных топлив: Монография – Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. – 145 с.
9. Соломин Б.А., Черторийский А.А., Низаметдинов А.М., Конторович М.Л. Расширение функциональных возможностей аппаратно-программного комплекса для исследования свойств нефтепродуктов // Межвуз. сборник науч. трудов «Радиоэлектронная техника». – Ульяновск: УлГТУ, 2010.
10. Соломин Б.А., Конторович М.Л., Подгорнов А.А. Вибровискозиметрический датчик повышенной точности // Межвуз. сборник науч. трудов «Радиоэлектронная техника». – Ульяновск: УлГТУ, 2008.
11. Энглин Б.А. Применение жидких топлив при низких температурах. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Химия, 1980. – 208 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.И. Смирнов.

Низаметдинов Азат Маратович – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ульяновский государственный технический университет"; e-mail: anizametdinov@yandex.ru; 432054, г. Ульяновск, ул. Генерала Мельникова, 8, корп. 1, к. 82; тел.: +79176375411; аспирант.

Соломин Борис Александрович – Ульяновский филиал Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук; e-mail: solomin.boris@yandex.ru; 432030, г. Ульяновск, ул. Репина, 37, к. 130; тел.: 8422467009; ведущий научный сотрудник.

Nizametdinov Azat Maratovich – Federal state educational institution of higher senior education "Ulyanovsk state technical University"; e-mail: anizametdinov@yandex.ru; 8, street of General Melnikova, corp.1, k. 82, Ulyanovsk, 432054, Russia; phone: +79176375411; postgraduate student.

Solomin Boris Aleksandrovich – Ulyanovsk Branch of Kotelnikov Institute of Radiotechnics and Electronics; e-mail: solomin.boris@yandex.ru; 37, 130, Repin street, Ulyanovsk, Russia; phone: +7422467009; leading researcher.

УДК 681.5

Ю.А. Заргарян, Е.В. Заргарян, А.Д. Коринец, Э.С. Артюхов КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ РЕГУЛЯТОРА*

Описываются показатели работы регулятора, которые представляют собой комплексную оценку, содержащую в себе условия точности и надежности, являющимися одними из основных требований, предъявляемых к работе регулятора. Невыполнение одного из этих требований или неправильная оценка его может привести к полному или частичному отказу автоматической системы, потере времени на восстановление и материальному ущербу. Такое положение выдвинуло на первое место требование обеспечения повы-

* Материалы статьи подготовлены в рамках выполнения работ по гранту Российского научного фонда № 14-19-01533

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты: 12-08-00798-а, 126