

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ЛАЗЕРНОГО КОНТРОЛЯ ВЯЗКОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

И.Н. Шиганов
Д.М. Мельников
М.А. Якимова

inshig@bmstu.ru
Daenoor@gmail.com
marya.korotaeva@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрен экспресс-метод определения кинематической вязкости и индекса вязкости смазочных материалов нефелометрическим способом. Метод основан на принципе лазерного фазового анализа — сканирования жидкой среды в процессе изменения ее температуры. Вязкость определена при свободном течении жидкости в кювете. Рассматриваемый метод имеет ряд достоинств перед другими экспресс-методами определения кинематической вязкости, среди которых высокая точность, скорость исследования и удобство реализации в виде экспресс-прибора. Особенностью метода также является то, что загрязнения (изменение плотности, оптической прозрачности и т. д.) сред не влияют на определяемые показания кинематической вязкости. Данный метод направлен на поддержание эффективности режима смазывания станков и различной техники

Ключевые слова

Лазер, вязкость, экспресс-анализ, эффективность, смазочные материалы

Поступила в редакцию 23.05.2016
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Статья выполнена в рамках работ по гранту Российского научного фонда № 141901216

Введение. Эффективность работы различной техники — от станков до транспортных машин — связана с эффективностью смазочных систем. Для корректного функционирования механизмов разрабатываются специальные смазочные материалы, однако при постепенной отработке масел могут снижаться и показатели работы механизмов. Значение качества и состояния масла тем больше, чем выше стоимость и энергонасыщенность оборудования [1].

По мере эксплуатации все смазочные материалы постепенно теряют свои начальные свойства, что связано как с качеством материала, так и с естественным процессом, происходящим при работе смазки [2]. Например, моторные масла часто обладают моющим эффектом, что заключается в удалении нагара с элементов двигателя. Из-за этой функции масло загрязняется, что не может происходить бесконечно. Другая известная функция смазки — охлаждение, также может нарушаться при отработке соответствующих присадок или загрязнении масла. К причинам ухудшения свойств масла можно отнести загрязнение продуктами износа или водой движущихся частей [3, 4], деградацию масла

(в частности, окисление), истощение присадок. Отработка масла приводит к изменению целого ряда его параметров и как следствие, к сбою режима смазывания. Ярким примером может служить эксплуатация гидроприводов строительных машин. Там загрязнение абразивными примесями может стать даже причиной отказа системы и, следовательно, существенных затрат на ремонт [5]. По мере изнашивания механизма повышаются требования к рабочим свойствам масла, касающиеся вязкости, моющейдиспергирующих или антикоррозионных свойств [1].

Срок службы смазочного материала определяется по результатам многочисленных исследований, которые проходят на всех стадиях изготовления масла — от разработки до производства. Производители техники проводят собственные исследования, в которых оценивается, как загрязнение и отработка масла влияют на механизм. Масло, которое отслужило свой срок, необходимо менять и отправлять на регенерацию. Однако надо иметь в виду, что если менять масло слишком поздно, то может снизиться эффективность работы [6] механизма, а также будет происходить постепенное накопление необратимых изменений в подвижных элементах. При поздней замене масла увеличиваются затраты на его регенерацию. Если менять масло слишком рано, то сильно растут общие затраты на смазочные материалы.

Существенное влияние на скорость отработки масел оказывают условия эксплуатации механизма. Сложные условия ведут к повышенной отработке [7], поэтому замену масла необходимо проводить раньше срока, указанного по результатам заводских исследований. Причинами ранней отработки могут быть эксплуатация в агрессивной среде (на шахтах, море и т. д.), попадание пыли (для строительной техники) либо частая перегрузка механизма. Всё это приводит к тому, что масло теряет свои начальные свойства слишком быстро, режим смазывания нарушается, и дорогостоящая техника может выйти из строя. При этом частая замена смазочного материала ведет к повышенным расходам, поэтому целесообразно осуществлять её только при достижении определенной степени отработки. Для этого необходим оперативный контроль состояния материала непосредственно на месте эксплуатации. Лабораторные химические и физико-химические методы, как правило, не подходят для такой задачи, вследствие чего широкое распространение получили различные экспресс-приборы по анализу жидких сред, основанные на оптических, диэлькометрических и других методиках.

Контроль вязкости смазочных материалов. Вязкость является одним из основных показателей работы смазочной системы. Вязкость не должна быть слишком низкой, так как это может привести к повреждению движущихся частей. Слишком высокая вязкость снижает эффективность работы системы, а также служит одной из причин засорения фильтров (в случае систем на основе ДВС). В связи с этим значение вязкости специально рассчитывается для каждого механизма. Однако при эксплуатации техники в широком диапазоне температур возникает проблема с поддержанием значения вязкости на должном уровне.

С увеличением температуры от 0 до 100 °С вязкость моторного масла падает на несколько порядков, т. е. масло становится более жидким. Скорость изменения кинематической вязкости с ростом температуры характеризуется индексом вязкости.

При рассмотрении системы смазывания на примере ДВС можно выделить следующие факторы, на которые влияет вязкость масла:

- толщина образуемой масляной пленки в парах трения (надежность разделения трущихся поверхностей при высоких температурах, стойкость к разрушению до добавления противоизносных присадок);
- легкость пуска двигателя в холодную погоду;
- мощность двигателя и КПД двигателя;
- количество осадков, образующихся в картерном масле;
- расходы топлива и масла.

Для поддержания указанных параметров на необходимом уровне, особенно при сложных условиях эксплуатации, важно оперативно контролировать вязкость и индекс вязкости масла. Контроль может осуществляться двумя путями — лабораторные исследования и экспресс-анализ. Полный цикл лабораторных исследований дает достоверную информацию об образце, однако такая практика экономически не оправдана. Частичный анализ дает достоверную информацию только о конкретных выбранных показателях, однако не даст динамику их развития в процессе эксплуатации. Экспресс-анализаторы параметров масел имеют чаще всего низкую точность и способны определять только один показатель. Основным направлением применения экспресс-методов является контроль какого-либо параметра материала непосредственно во время работы.

Кинематическую вязкость масла измеряют с помощью вискозиметров трех основных типов: капиллярных, ротационных и прочих приборов, измеряющих время падения шарика в жидкости, сопротивление вибрации зонда или давление, оказываемое жидкостью на зонд.

К экспресс-приборам чаще всего относятся ротационные вискозиметры и некоторые другие [8, 9]. Определение индекса вязкости производят путем измерения кинематической вязкости при 40 и 100 °С, а сам индекс определяют затем из таблиц по ASTM D 2270 или ASTM D 39B. Поскольку индекс вязкости определяется при 40 и 100 °С, он не связан с низкотемпературной вязкостью, которую определяют вискозиметром Брукфильда и вискозиметрами высокой скорости сдвига.

В то же время известен метод лазерного фазового анализа (ЛФА), описанный в работах [10–12], с помощью которого можно исследовать ряд параметров жидких нефтепродуктов, в том числе масел. Метод является экспрессным и может быть реализован в виде доступного прибора. Сущность метода заключается в следующем. Жидкий образец помещают в кювету, присоединенную к термoelementу. Поверхность образца непрерывно сканируется лазерным излучением. По изменению оптических свойств пробы в процессе изменения её температуры судят о значении искомого свойства исследуемой среды.

Параметры вязкости сред также можно определить с помощью метода ЛФА. Для этого вводится механизм покачивания пробы. При покачивании угол наклона жидкости к лазерному лучу изменяется, что ведет к изменению уровня принимаемого сигнала. Анализируя такие данные, можно измерять скорости течения. При прочих равных условиях такой подход позволяет, как будет показано далее, проводить экспресс-контроль вязкости и индекса вязкости жидких сред.

Цель настоящей работы — разработка технологических основ определения кинематической вязкости и индекса вязкости жидкостей на примере гидравлического масла методом ЛФА. Решение этой задачи может позволить применять экспресс-прибор на основе ЛФА для оперативного контроля параметров смазочных материалов, что особенно актуально для работоспособности техники, работающей в сложных условиях, например, строительной.

Методическая часть. Экспериментальная установка представляет собой лазерный нефелометр с возможностью изменения температуры исследуемого образца. Схема установки приведена на рис. 1. Излучение от непрерывного лазера (вторая гармоника Nd:YAG) 1 с длиной волны 532 нм после прохождения диафрагмы 2 попадает под углом 27° на поверхность образца в кювете 3. Благодаря встроенному элементу Пельтье 4 изменяется температура образца. Диафрагма 2 пропускает излучение, распространяющееся в малом телесном угле относительно оптической оси, что позволяет не учитывать кратность рассеяния выше первой. Излучение регистрируется фотодиодным приемником излучения 5. Для измерения температуры образца использовалась термопара. Исходя из данных работы [12] скорость охлаждения образцов при проведении процесса устанавливалась на значении $7^\circ\text{C}/\text{мин}$. При такой скорости достигается достаточно равномерное застывание вещества. Погрешность измерения рассеянной мощности излучения составила порядка 5 %, что является хорошим результатом для нефелометрических измерений.

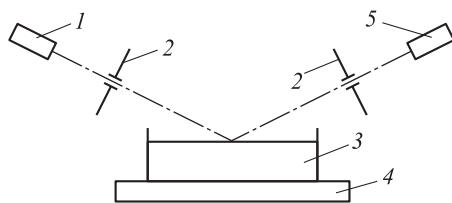


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Для проведения измерений использовали три типа сред: воду, глицерин и гидравлическое масло АМГ-10. Первые две среды применяли по следующим причинам:

- температурные показатели плотности и вязкости этих сред хорошо известны и приведены в таблице;
- вода и глицерин имеют разные уровни кинематической вязкости, исследование этих сред позволяет определить границы точности предлагаемого в настоящей работе метода.

Гидравлическое масло АМГ-10 изготавливается на основе специально подобранного высокоочищенного маловязкого нефтяного базового масла с ультранизкой температурой застывания. Масло содержит эффективный загуститель с высокой стойкостью к деструкции и присадки, улучшающие антиокислитель-

ную стабильность, противоизносные и антикоррозионные свойства. Масло в качестве рабочей жидкости обеспечивает надежную эксплуатацию гидравлических систем и устройств, работающих в интервале температур окружающей среды от -60 до 55 °С. Кинематическая вязкость масла составляет 10,3 сСт при 50 °С и 380 сСт при -20 °С согласно паспорту.

Характеристики вязкости исследуемых сред

Температура, °С	Динамическая вязкость, мПа · с	
	воды	глицерина
10	1,308	$3,95 \cdot 10^3$
20	1,002	$1,49 \cdot 10^3$
30	0,7978	$0,63 \cdot 10^3$
40	0,6531	330
50	0,5471	180
60	0,4668	102
70	0,4044	59
80	0,3550	35
90	0,3150	21
100	0,2822	13
120	–	5,2
140	–	1,8

В основе предлагаемого метода лежит измерение скорости течения жидкости оптическим (нефелометрическим) методом. Особенность экспериментальной установки заключается в постоянном изменении угла наклона жидкости относительно оптической схемы. По этой причине важным параметром для исследования является диаграмма направленности лазерного излучения. В настоящей работе использовался одномодовый лазерный излучатель с распределением, близким к гауссовому. «Хвосты» распределения отсекались диафрагмой 2. Это позволяло не учитывать изменение распределения интенсивности при наклоне кюветы.

Кювета выполнена таким образом, чтобы при покачивании жидкость не выливалась за её пределы, одновременно с этим высота стенок не влияет на перекрытие лазерного излучения, что реализуется с помощью диафрагмы 2. Она отсекает диаметр пучка, не попадающий на стенку кюветы.

Колебания, которые испытывает жидкость в процессе покачивания, вносят вклад в регистрируемую мощность излучения, однако расчетная модель построена так, чтобы максимально исключить этот эффект. При вычислениях учитывают значения при крайнем положении угла наклона жидкости, а затем рассчитывают время, за которое достигается это положение. Время обратного возвращения не может достоверно учитываться в модели, описанной в настоящей работе, из-за колебаний жидкости.

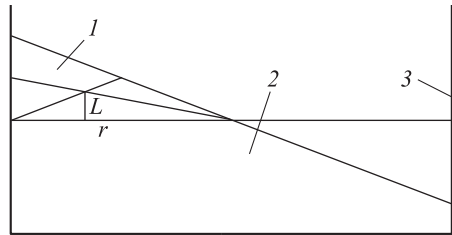
Теоретическая часть. Расчет вязкости в предлагаемом экспресс-методе проводится за счет калибровки по образцам с известными параметрами (вода и глицерин). В основе метода измерений лежит свободное течение жидкости. Для расчета используют закон Пуазейля:

$$Q = \pi \frac{R^4 p}{8\eta L}, \tag{1}$$

где Q — объемный расход жидкости; R — радиус капилляра; p — перепад давления; η — коэффициент динамической вязкости; L — длина капилляра.

Для адаптации формулы (1) к описанной экспериментальной установке был сделан ряд допущений, связанных с тем, что жидкость течет не по капилляру, а свободно по цилиндрической кювете: за объемный расход принимается движение участка 1 (рис. 2); длина капилляра принимается равной перемещению центра масс L ; радиус капилляра равен радиусу кюветы r ; перепад давления рассчитывается экспериментально путем подстановки в формулу (1) известных значений вязкости воды и глицерина; поскольку оценивается только крайнее положение жидкости, то описанные геометрические параметры берутся для этого положения.

Рис. 2. Расчетная схема наклона жидкости в цилиндрической кювете при покачивании: 1 — элемент объема жидкости, изменивший свое положение при наклоне кюветы; 2 — жидкий образец в кювете; 3 — стенки кюветы; L — перемещение центра масс объема 1 ; r — радиус цилиндрической кюветы



Расчетная схема предполагает измерение вязкости воды и глицерина, для которых показатель кинематической вязкости известен. Экспериментально определяется параметр Q , после чего можно найти значение p , которое для разных сред в описанной экспериментальной схеме различается только по плотности. Кинематическая вязкость определяется как отношение динамической вязкости к плотности вещества. Тогда формулу (1) можно привести к виду

$$Q = \pi \frac{R^4 w}{8\nu L}, \tag{2}$$

где $w = p/\rho$ — приведенный перепад давления, ρ — плотность вещества; ν — коэффициент кинематической вязкости.

Используя формулу (2), можно по предлагаемой методике определить кинематическую вязкость жидких сред, не зная их плотность, что удобно для проведения экспресс-контроля масел, так как их плотность в процессе работы меняется относительно исходного значения.

Для экспериментального определения Q нужно измерить время, которое необходимо для полного перемещения объема 1 в крайнее положение. Регистрация этого положения в настоящей работе проводится с помощью отраженного лазерного излучения. Минимум мощности будет соответствовать максимальному отклонению. Время между исходным и минимальным значением

принимаемой мощности считается временем одного скачка. Тогда $Q = V_1 / t$, где V_1 — объем l (см. рис. 2) и t — время скачка. Окончательно имеем

$$\nu = \pi \frac{R^4 w t}{8 V_1 L}. \quad (3)$$

Таким образом, по формуле (3) можно определить кинематическую вязкость жидкости, используя значения w , экспериментально измеряемые для эталонных сред, которыми в настоящей работе являлись вода и глицерин.

Обсуждение экспериментов. Предлагаемый в работе метод определения вязкости основан на измерении скорости течения жидких образцов в процессе изменения их температуры. Скорость течения измеряли путем непрерывной регистрации мощности лазерного излучения, попадающего на фотоприемник после отражения от поверхности жидких образцов. Использовались следующие жидкие среды: вода, глицерин, гидравлическое масло.

Участок зависимости мощности отраженного лазерного излучения от температуры образца, полученной для воды, показан на рис. 3.

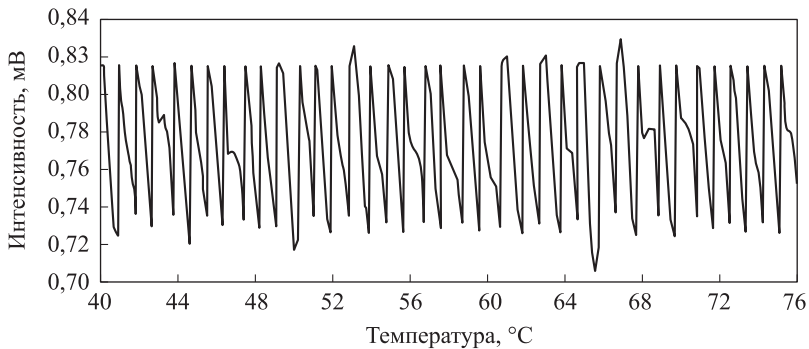


Рис. 3. Зависимость мощности регистрируемого отраженного лазерного излучения от температуры образца

Колебания сигнала на рис. 3 соответствуют покачиваниям термостатического блока. Амплитуда скачков в процессе исследования практически не изменялась в рамках погрешности метода. Связано это с тем, что вязкость воды достаточно мала, и за время покачивания она успевала полностью перетечь в крайнее положение. Далее рассчитывалось время одного скачка. Как описывалось ранее, для этого учитывается только время перехода сигнала от начального до минимального положения. Зависимость продолжительности скачков от температуры для воды и глицерина показана на рис. 4.

Полученная зависимость позволяет по формуле (2) определить значения w для каждой температуры (рис. 5). Видно, что колебания значений w находятся в пределах погрешности и их среднее значение составляет $w_{\text{ср}} = 0,133 \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{кг}$. Для глицерина $w_{\text{ср}} = 0,128 \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{кг}$, что отличается от $w_{\text{с}}$ для воды на 3,7 %. Такое отклонение входит в погрешность методики.

Рис. 4. Продолжительность скачков регистрируемой интенсивности отраженного от поверхности воды лазерного излучения:
1 — вода; 2 — глицерин

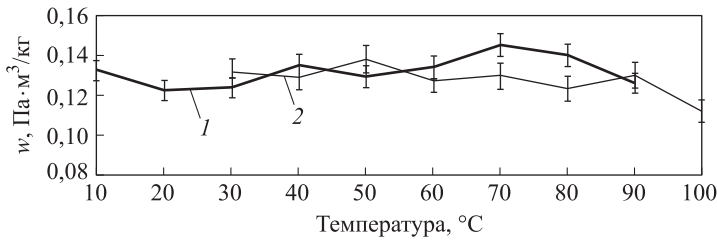
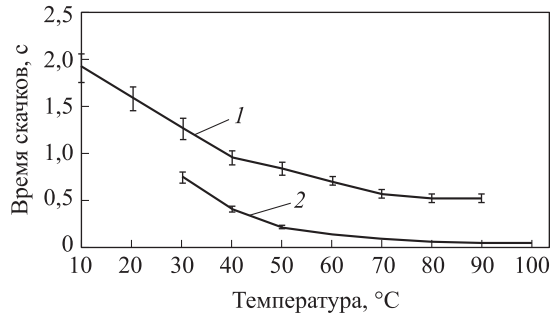


Рис. 5. Значения приведенного перепада давления w при разных температурах:
1 — воды; 2 — глицерина

Пользуясь полученными данными, по формуле (3) можно рассчитать значения кинематической вязкости для гидравлического масла АМГ-10 при разных температурах в пределах от -40 до 65 °C (рис. 6). Контрольными значениями в настоящей работе являются точки -20 и $+50$ °C. Кинематическая вязкость масла в этих точках по данным исследования составила $398,5$ и $10,9$ сСт соответственно. Истинные значения вязкости при этих температурах $380,0$ и $10,3$ сСт соответственно, что позволяет говорить о том, что погрешность метода находится в пределах $7,6$ %. Подобные значения являются нормой для нефелометрических экспресс измерений.

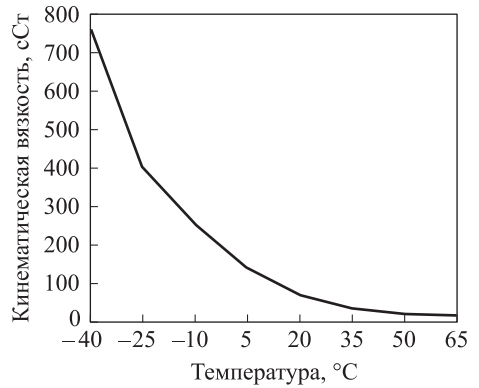


Рис. 6. Зависимость кинематической вязкости гидравлического масла АМГ-10 от изменения температуры

Применение данного метода может осуществляться следующим образом: зная объем пробы, измеряют значение w по воде, глицерину либо другой среде с известными параметрами. Затем экспресс-прибор используют непосредственно на месте эксплуатации исследуемой жидкости. В процессе работы пробы забирают с определенным интервалом. Прибор после цикла охлаждения каждый раз показывает температурную зависимость значений вязкости жидкости, которую сопоставляют со стандартами для этой среды, после чего определяют допусти-

мость ее дальнейшего применения. Индекс вязкости рассчитывают по ASTM D 2270, используя полученные значения вязкости.

Выводы. В настоящей работе предложен экспресс-метод контроля вязкости смазочных материалов в процессе их эксплуатации. Метод заключается в оптической регистрации скорости течения жидкостей и расчете их вязкости в широком диапазоне температур от -40 до 150 °С на основе калибровки по жидкостям с известными параметрами. Разработанный метод имеет следующие характеристики: погрешность измерений в пределах 8 %; реализация в виде экспресс-прибора [5, 6]; применение непосредственно на месте эксплуатации техники; не требует измерения плотности веществ; время измерений составляет около 10 мин.

Предложенный метод направлен на поддержание эффективности режима смазывания станков и различной техники. Особенно важным является использование такого метода в сложных условиях эксплуатации, характеризующихся повышенной загрязненностью внешней среды. Реализация метода в виде экспресс-прибора позволяет эффективно контролировать значения вязкости смазочных материалов либо других жидких сред в широком интервале температур (от -40 до 150 °С) непосредственно в процессе их эксплуатации. Особенность метода заключается в том, что загрязнения (изменение плотности, оптической прозрачности и т. д.) сред не влияют на определяемые показания кинематической вязкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дунаев А.В. Экспресс-контроль масла для снижения износов и предотвращения аварий моторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Т. 16. № 12. С. 420–428.
2. Кустарёв Г.В., Дудкин М.В., Гурьянов Г.А. Обеспечение чистоты и поддержание эксплуатационных свойств рабочих жидкостей гидропривода строительных и дорожных машин // Вестник МАДИ. 2008. № 2. С. 43–47.
3. Кузьмин Н.А., Пачурин Г.В., Кузьмин А.Н. Анализ отложений в автомобильных двигателях // Современные проблемы науки и образования. Электрон. журн. 2014. № 1.
URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12059>
4. Можаяев О.С., Попов Е.С. Топливная эффективность судового машинно-двигательного комплекса // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология. 2014. № 2. С. 95–98.
URL: http://vestnik.astu.org/content/userimages/file/sea_2014_2/13.pdf
5. Романов Е.Г., Хохлов А.Л. Факторы, влияющие на эксплуатационную надежность топливных систем // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения. 2014. № 1. С. 480–487.
6. Martin Reik, Jung Frank. Contamination of lubrication oils // Encyclopedia of lubricants and lubrication. Heidelberg, Berlin: Springer, 2014. P. 292–313.
7. Киреева А.И. Оценка влияния условий эксплуатации на расход моторных масел специальными автомобилями. Дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2003. 147 с.
8. Алаторцев Е.И., Зрелов В.Н. Патент 2263301 РФ. Способ экспрессного определения кинематической вязкости авиационных керосинов и дизельных топлив. Заявл. 26.03.2003. Опубл. 27.12.2004.

9. Коротаева М.А., Алехнович В.И., Григорьянц А.Г. Методы лабораторного и полевого анализа состава сильнодисперсионных сред // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 9. DOI: 10.18698/2308-6033-2012-9-356 URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/optical/356.html>

10. Мельников Д.М., Шиганов И.Н. Исследование технологических сред методом лазерного фазового анализа // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2015. № 4. С. 100–108. DOI: 10.18698/0236-3941-2015-4-100-108

11. Шиганов И.Н., Мельников Д.М. Определение низкотемпературных свойств дизельных топлив путем экспресс-анализа жидких нефтепродуктов // Технология машиностроения. 2011. № 11. С. 65–67.

12. Мельников Д.М., Шиганов И.Н. Влияние скорости охлаждения образцов на показатели метода лазерного фазового анализа // Научно-технические технологии в машиностроении. 2014. № 3. С. 25–27.

Шиганов Игорь Николаевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Лазерная техника и технология» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Мельников Дмитрий Михайлович — канд. техн. наук, ассистент кафедры «Лазерная техника и технология» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Якимова Мария Александровна — ассистент кафедры «Лазерная техника и технология» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Шиганов И.Н., Мельников Д.М., Якимова М.А. Экспресс-метод лазерного контроля вязкости смазочных материалов в процессе эксплуатации машин и механизмов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2017. № 1. С. 86–97.
DOI: 10.18698/0236-3941-2017-1-86-97

**RAPID METHOD OF LUBRICANTS VISCOSITY LASER CONTROL
IN MACHINES AND MECHANISMS OPERATIONAL PROCESS**

I.N. Shiganov
D.M. Mel'nikov
M.A. Yakimova

inshig@bmstu.ru
Daenoor@gmail.com
marya.korotaeva@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The study tested the rapid method for determining kinematic viscosity and lubricants viscosity index by using the nephelometric technique. The method is based on the principle of laser phase analysis — scanning of the liquid medium in the process of changing its temperature. Viscosity was determined by the free liquid flow in a cuvette. The proposed method has several advantages compared to other

Keywords

Laser, viscosity, rapid analysis, effectiveness, lubricants

rapid methods, namely high accuracy and testing rate, convenience of implementation as a rapid tool. The characteristic feature of the method is that the contamination (change in density, optical clarity, etc.) does not affect the determined kinematic viscosity figures. This method is aimed at maintaining the effectiveness of the lubrication rate in machines and various equipment

REFERENCES

- [1] Dunaev A.V. Oil express-control for wear reduction and preventing of drive breakdown. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2009, vol. 16, no. 12, pp. 420–428 (in Russ.).
- [2] Kustarev G.V., Dudkin M.V., Gur'yanov G.A. Maintenance of cleanliness and maintenance of operational properties of working liquids of a hydrodrive of building and road machines. *Vestnik MADI*, 2008, no. 2, pp. 43–47 (in Russ.).
- [3] Kuz'min N.A., Pachurin G.V., Kuz'min A.N. Analysis of deposits in the engine. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2014, no. 1 (in Russ.). Available at: <https://www.science-education.ru/en/article/view?id=12059>
- [4] Mozhaev O.S., Popov E.S. Fuel efficiency of ship propulsion plant. *Vestnik AGTU. Ser. Morskaya tekhnika i tekhnologiya* [Vestnik of ASTU. Series: Marine Engineering and Technologies], 2014, no. 2, pp. 95–98 (in Russ.). Available at: http://vestnik.astu.org/content/userimages/file/sea_2014_2/13.pdf
- [5] Rotanov E.G., Khokhlov A.L. Factors affecting performance reliability fuel systems. *Nauka v sovremennykh usloviyakh: ot idei do vnedreniya*, 2014, no. 1, pp. 480–487 (in Russ.).
- [6] Martin Reik, Jung Frank. Contamination of Lubrication Oils // *Encyclopedia of Lubricants and Lubrication*. Heidelberg, Berlin, Springer, 2014. Pp. 292–313.
- [7] Kireeva A.I. Otsenka vliyaniya usloviy ekspluatatsii na raskhod motornykh masel spetsial'nymi avtomobilyami: dis. kand. tekhn. Nauk [Assessment of operational conditions impact on motor oil consumption by special vehicles: kand. tech. sci. diss.]. Tyumen', 2003. 147 p.
- [8] Alatorsev E.I., Zrelou V.N. Patent 2263301 RF. Sposob ekspressnogo opredeleniya kinematocheskoy vyazkosti aviatsionnykh kerosinov i dizel'nykh topliv [Express determination method of kinetic viscosity of aviation kerosines and diesel fuels]. Publ. 27.12.2004.
- [9] Korotaeva M.A., Alekhovich V.I., Grigor'yants A.G. Methods of laboratory and field compositional analyses of strongly scattering medium. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2012, no. 9 (in Russ.). DOI: 10.18698/2308-6033-2012-9-356 Available at: <http://engjournal.ru/eng/catalog/pribor/optica/356.html>
- [10] Mel'nikov D.M., Shiganov I.N. Research into process fluids using laser phase analysis. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostroyeniya*. [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2015, no. 4, pp. 100–108 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3941-2015-4-100-108
- [11] Shiganov I.N., Mel'nikov D.M. Determination of diesel fuel low-temperature properties by rapid analysis of hydrocarbon oils. *Tekhnologiya Mashinostroyeniya*, 2011, no. 11, pp. 65–67 (in Russ.).

[12] Mel'nikov D.M., Shiganov I.N. Influence of specimen cooling rate on parameters of laser phase analysis method. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii* [Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering], 2014, no. 3, pp. 25–27 (in Russ.).

Shiganov I.N. — Dr. Sci. (Eng.), Professor of Laser Equipment and Technology Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Mel'nikov D.M. — Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of Laser Equipment and Technology Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Yakimova M.A. — Assoc. Professor of Laser Equipment and Technology Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Shiganov I.N., Mel'nikov D.M., Yakimova M.A. Rapid Method of Lubricants Viscosity Laser Control in Machines and Mechanisms Operational Process. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2017, no. 1, pp. 86–97. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-1-86-97