

## **Повышение эффективности работы двигателей внутреннего сгорания путем мониторинга состояния рабочих технологических жидкостей**

© Д.М. Мельников, И.Н. Шиганов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Разработан метод определения концентрации механических примесей в гидравлическом масле АМГ-10, выбранном в качестве модельной среды. Метод можно использовать для концентраций примесей 0,5...10,0 мг/дм<sup>3</sup> с точностью не более 5 %.*

**Ключевые слова:** лазер, эффективность, масла, загрязнения.

**Введение.** В настоящее время актуальной задачей является повышение эффективности работы двигателей гражданской и военной техники. Загрязнение рабочего смазочного материала приводит к снижению КПД двигателей, что создает определенные проблемы при их эксплуатации. Источниками загрязнений служат механические примеси, пыль, нагар, вода и др.

Ранее в работе [1] был предложен метод экспресс-контроля качества нефтепродуктов, заключающийся в считывании лазерного излучения, отраженного от поверхности вещества в процессе его застывания. Метод отличался информативностью и универсальностью, на его основе можно было определить набор качественных параметров вещества.

Перед разработчиками двигателей современной гражданской и военной техники всегда стоит задача достижения оптимальных показателей с точки зрения энергетической эффективности работы двигателей. Улучшение показателей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) может быть достигнуто различными способами, одним из которых является совершенствование смазочных материалов. Однако загрязнение, обводнение, несвоевременная замена масел сводят на нет все усилия ученых так же, как и производство изначально некачественных продуктов.

Снижение мощности двигателей только по причине износа, отработки смазочного материала и подобных процессов может достигать 30 % [2], и это сегодня является серьезной проблемой. Речь идет не только о повышении расходов на топливо и обслуживание двигателей, но и о снижении конкурентоспособности техники, что создает проблему уже в масштабах всей страны.

Серьезнейшей причиной снижения КПД двигателей внутреннего сгорания является загрязнение рабочего смазочного материала вследствие образования нагара, попадания в двигатель пыли, механиче-

ских частиц, воды и т. п. [3]. В результате загрязнения повышается износ сопряженных деталей, увеличивается нагарообразование, нарушается температурный режим [4]. Более того, увеличивается токсичность выбросов, что недопустимо в условиях постоянной борьбы за чистоту работы ДВС. Поэтому часто требуется внеочередная замена отработанного масла, хотя точно установить степень его отработки в процессе эксплуатации двигателя затруднительно. Требуется специальное оборудование и время для проведения исследования. К тому же методы контроля качества, особенно экспресс-методы (доступные в полевых условиях), не позволяют определять весь комплекс показателей (наличие механических примесей, воды, воздуха, нагара), а только один или два из них.

**Метод лазерного фазового анализа.** Существует экспресс-метод анализа жидких нефтепродуктов [1], в том числе нефтяных топлив и масел, позволяющий определять набор показателей вещества в автономных условиях без использования дорогостоящего оборудования и длительных исследований и без специальных требований к подготовке оператора. При этом некоторые приемы, реализованные в методе лазерного фазового анализа, показали беспрецедентную для своего класса точность — на уровне требований Госстандарта. Сравнение этого метода с традиционными способами анализа нефтяных топлив и масел приводится в работе [1].

Цель статьи — адаптация для контроля загрязнения нефтяных масел методики определения концентрации вещества, которая была описана в работе [1] для оценки концентрации воды в дизельных топливах. В данной работе исследовался принцип интегральной оценки концентрации загрязнений, без разделения на отдельные виды загрязнений.

**Исследуемый материал.** Материалом для исследования выбрано масло АМГ-10 — типовое масло для использования в приводах строительной техники. Кроме систем ДВС, «опасным» элементом строительной техники является еще и жидкостная система гидропривода, которая также подвергается загрязнению.

На пути от завода-изготовителя до потребителя в рабочие жидкости (масла) попадают пыль из воздуха, продукты износа перекачивающих средств и коррозии трубопроводов и резервуаров [5]. Исследования проб рабочей технологической жидкости из гидросистем различных строительных машин показали, что загрязненность масел в среднем по предприятиям превышает допустимые нормы в 10–30 раз. При этом изучение процесса эксплуатации строительных и дорожных машин на предприятиях г. Усть-Каменогорска показало, что 30...52 % отказов строительных машин связаны с состоянием гидроприводов [5]. Главной причиной такой ситуации является некачественная

очистка масел, а также несоблюдение норм производства на предприятиях. Анализ качества масла, как правило, требует лабораторного исследования, которое потребитель самостоятельно провести не может. В настоящей статье описан метод, реализованный на портативном автономном экспресс-приборе. Внедрение такого прибора даст возможность получателю масла определить его качество либо своевременно выявить, когда рабочая технологическая жидкость (масло) исчерпает свой ресурс.

**Проведение исследований.** В смазочных материалах ДВС по причине загрязнения содержатся частицы с типичными размерами 2...200 мкм, при этом большинство составляют частицы песка и металла размером 10...30 мкм, наиболее опасные для механизмов [5]. При таких размерах частицы не выпадают в осадок, а находятся во взвешенном состоянии. По этой причине они образуют с маслом единую систему и активно влияют на процесс застывания масла.

На изучении этого явления и основан описываемый метод: находящиеся в масле частицы искажают процесс охлаждения (структурные перестройки происходят со сдвигом во времени), что может быть зафиксировано путем регистрации лазерного излучения, пропущенного через пробу, поскольку во время структурных превращений изменяются показатели преломления и рассеяния среды. Пробу охлаждают до низких температур с помощью термоэлемента и одновременно сканируют лазерным излучением. Так как коллоидная среда является сильно рассеивающей, используют регистрацию отраженного излучения (рис. 1).

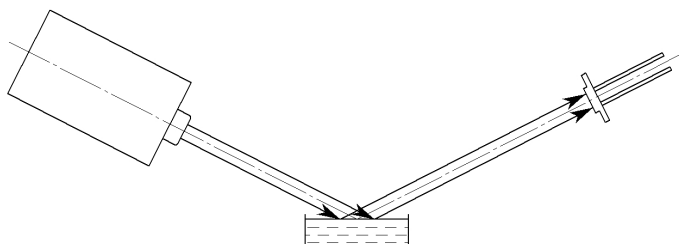


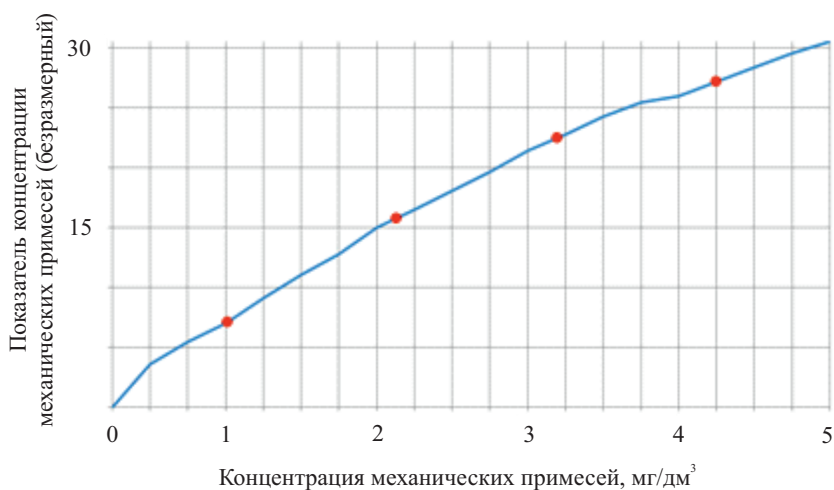
Рис. 1. Принципиальная схема метода зеркального отражения

Определение концентрации механических примесей осуществляли после построения калибровочной зависимости. Для этого подготовили несколько образцов пробы масла АМГ-10 с различной концентрацией примесей с помощью метода лазерной абляции. В масло погружали стальную пластину, после чего под воздействием импульсного лазерного излучения она испускала частицы. Параметры лазерного импульса были рассчитаны и подобраны таким образом, чтобы максимально уменьшить долю продуктов горения металла. Для этого выбрали короткий импульс — около 10 нс, и обеспечили

острую фокусировку лазерного излучения. Поскольку за один импульс выбивается незначительное количество металла, каждый калибровочный образец облучали большим количеством импульсов (от 500 до 4000). До и после облучения пластину взвешивали. После этого был осуществлен расчет необходимого количества импульсов для получения образцов с содержанием механических примесей с концентрациями 0,1...50,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Исследования показали, что метод лазерного фазового анализа эффективен только для концентрации примесей в диапазоне 0,5...10,0 мг/дм<sup>3</sup>. При меньших концентрациях резко возрастает погрешность измерений из-за недостаточной чувствительности метода в целом. При более высоких концентрациях снижается стабильность застывания образцов, что негативно влияет на повторяемость результатов.

Для проверки полученной калибровочной зависимости была подготовлена серия образцов масла АМГ-10, загрязненного в реальных рабочих условиях (концентрация примесей в этих образцах была заранее определена стандартным методом в соответствии с ГОСТ 6370–83). Калибровочная зависимость, построенная на базе первой серии образцов, показана на рис. 2. Данная зависимость была построена следующим образом. Для всех образцов с концентрациями примесей 1...5 мг/дм<sup>3</sup> (в пределах указанного выше диапазона) вычисляли разности между каждой парой точек для чистого и загрязненного образцов при одной и той же температуре. Затем эти разности суммировали. Полученное значение было принято за показатель концентрации примесей, стоящий на оси ординат (см. рис. 2). Результаты анализа второй серии образцов сравнивали с результатами анализа чистого



**Рис. 2.** Калибровочная зависимость для определения концентрации механических примесей в масле АМГ-10

масла по такому же алгоритму. Концентрацию примесей в образцах из второй серии определяли по методу наименьших квадратов.

Относительная погрешность полученных измерений составила не более 5 %, что является приемлемым результатом для экспресс-метода.

**Заключение.** Для метода лазерного фазового анализа в настоящей работе была разработана методика определения механических примесей в гидравлическом масле АМГ-10. Ее можно опробовать также на моторных маслах и топливах для решения проблемы своевременного контроля степени их отработки (загрязнения). Данную методику можно реализовать в экспресс-приборах и использовать непосредственно на местах эксплуатации контролируемых технологических жидкостей, не привлекая специально обученных операторов. Время анализа по разработанной методике составляет около 20 мин, что также является ее преимуществом при использовании непосредственно на местах производства, хранения или эксплуатации контролируемых жидкостей. При этом достаточные точность и чувствительность методики делают ее конкурентоспособной среди экспресс-методов оценки качества нефтепродуктов.

Оценка концентрации механических примесей по разработанной методике дает возможность оперативно выявлять степень чистоты смазочных материалов, что позволяет избежать существенного снижения эффективности работы механизма в целом.

*Работа выполнена в рамках работ по гранту Российского научного фонда № 141901216.*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мельников Д.М., Шиганов И.Н. Определение низкотемпературных свойств дизельных топлив путем экспресс-анализа жидких нефтепродуктов. *Технология машиностроения*, 2011, № 11, с. 65–67.
- [2] Можаяев О.С., Попов Е.С. Топливная эффективность судового машинно-двигательного комплекса. *Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология*, 2014, № 2, с. 95–98.
- [3] Кузьмин Н.А., Пачурин Г.В., Кузьмин А.Н. Анализ отложений в автомобильных двигателях. *Современные проблемы науки и образования*, 2014, № 1, с. 226.
- [4] Рунда М.М. *Метод контроля состояния моторных масел при длительном хранении техники*. Дис. ... канд. техн. наук. Томск — Красноярск, 2014, 179 с.
- [5] Кустарев 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.

Ссылку на статью просим оформлять следующим образом:

Мельников Д.М., Шиганов И.Н. Повышение эффективности работы двигателей внутреннего сгорания путем мониторинга состояния рабочих технологических жидкостей. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2015, вып. 10.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/pmce/he/1444.html>

*Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на Восьмой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 23–26 сентября 2015 г.*

**Мельников Дмитрий Михайлович** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор восьми статей в области лазерного анализа нефтепродуктов, лазерной микрообработки, лазерной сварки. e-mail: Daenoor@gmail.com

**Шиганов Игорь Николаевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры «Лазерные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 150 статей в области лазерной и гибридной сварки, лазерной резки и термообработки, лазерного анализа нефтепродуктов, лазерной микрообработки. e-mail: inshig@bmstu.ru

## Improving the efficiency of internal combustion engines by monitoring the state of the working process fluids

© D.M. Melnikov, I.N. Shiganov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The article presents a developed method for determining the concentration of mechanical impurities in the hydraulic oil AMG-10, selected as a model environment. The method can be used for impurity concentrations of 0.5...10.0 mg/dm<sup>3</sup> with an accuracy of no more than 0.5%.*

**Keywords:** laser, efficiency, oil, contamination.

### REFERENCES

- [1] Melnikov D.M., Shiganov I.N. *Journal "Tekhnologiya Mashinostroeniya"*, 2011, no. 11, pp. 65–67.
- [2] Mozhaev O.S., Popov E.S. *Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya — Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*, 2014, no. 2, pp. 95–98.
- [3] Kuzmin N.A., Pachurin G.V., Kuzmin A.N. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya — Modern problems of science and education*, 2014, no. 1, pp. 226.
- [4] Runda M.M. *Metod kontrolya sostoyaniya motornykh masel pri dlitel'nom khraneni tekhniki*. Dis. ... kand. tekhn. nauk [The method of monitoring of motor oil during prolonged storage equipment. Diss. ... cand. eng. sci.]. Tomsk — Krasnoyarsk, 2014, 179 p.
- [5] Kustarev G.V., Dudkin M.V., Guryanov G.A. *Journal "Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (MADI)"*, 2008, no. 2, pp. 43–47.

**Melnikov D.M.**, Cand. Sci. (Eng.), assistant lecturer of the Department "Laser technologies in Engineering Industry" at Bauman Moscow State Technical University. Author of over 150 papers in the field of laser analysis of petroleum products, laser microtreatment, laser welding. e-mail: Daenoor@gmail.com

**Shiganov I.N.**, Dr. Sci. (Eng.), professor of the Department "Laser technologies in Engineering Industry" at Bauman Moscow State Technical University. Author of over 150 papers in the field of laser and hybrid welding, laser cutting and heat treatment, laser analysis of petroleum products, laser microtreatment. e-mail: inshig@bmstu.ru