УДК 631.3-6

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ САЖИ В МОТОРНОМ МАСЛЕ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

В.К. Корнеева, канд. техн. наук, доцент
В.М. Капцевич, д-р техн. наук, проф.
И.В. Закревский, ст. преподаватель
П.М. Спиридович, магистрант
В.В. Остриков, студент
Белорусский государственный аграрный технический университет

Аннотация. Разработан и апробирован экспресс-метод определения сажи в работающем моторном масле, основанный на оценке светопоглощения и реализованный на базе аппаратной платформы *Arduino UNO* на основе микроконтроллера *ATmega328*.

Ключевые слова: моторное масло, ДВС, сажа, светопоглощение, фотометр, *Arduino UNO*

Сажа является естественным побочным продуктом горения топлива. Длительный процесс эксплуатации масла или неполное сгорание топлива приводят к аномальному накоплению сажи, что оказывает вредное воздействие на свойства как самого масла, так и на работоспособность ДВС в целом.

Частицы сажи (рисунок 1) [1], состоящие из углерода (98 % по массе) имеют форму, близкую к сферической, и размеры от 0,01 до 0,05 мкм, которые агломерируются с образованием более крупных частиц [2]. В зависимости от сорта масла концентрация сажи в диапазоне от 2 до 5 % обычно считается критической [3].

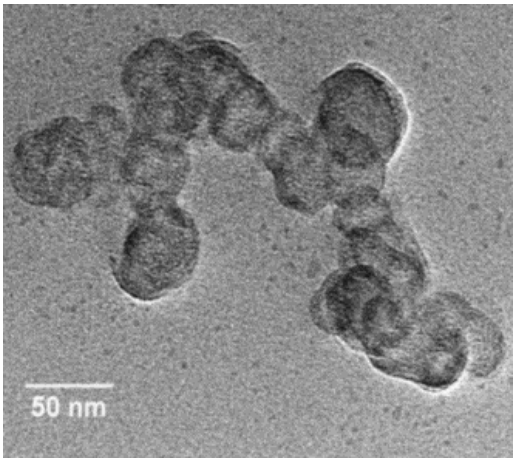


Рисунок 1 – Частицы сажи в моторном масле

Повышенное содержание сажи в моторном масле оказывает следующие негативное воздействие на работоспособность масла [3]:

– потеря моюще-диспергирующих свойств из-за адсорбции молекул моющих и диспергирующих присадок на сажистых частицах, что приводит к преждевременному выходу масла из строя;

– потеря противоизносных свойств в результате адсорбции молекул противоизносных присадок на поверхности сажистых частиц, что снижает их работоспособность для защиты трибосопряжений ДВС;

– повышение вязкости, связанного с увеличением концентрации сажи в масле, что вызывает повышение температуры и замедляет подачу смазки к трибосопряжениям ДВС.

Изменение состояния моторного масла из-за загрязнения сажей оказывает негативное влияние на работу ДВС [4]:

– приводит к преждевременному засорению фильтров, что вызывает повышенный абразивный износ деталей ДВС;

– вызывает образование нагара, шлама и закупорку масляных каналов.

Для определения процентного содержания сажи в моторном масле обычно используют инфракрасную спектроскопию [5], которая предусматривает применение дорогостоящего специализированного оборудования и не может быть использована в условиях АПК.

Для определения содержания сажи в моторных маслах в полевых условиях АПК можно использовать метод «капельной пробы» [6, 7], а также оценить этот параметр по изменению вязкости (например, с помощью компаратора) [8]. Однако эти методы не позволяют количественно оценить содержание сажи в моторном масле.

Одними из методов, позволяющих оценить содержание и количество сажи в моторном масле являются метод колориметрии и метод светопоглощения.

В последнее время для оценки процентного содержания сажи в моторном масле разрабатываются оптические устройства (белого или инфракрасного света), основанные на количественном определении количества непрошедшего света через образец испытуемого масла. Количество света, поглощенного маслом, определяется как содержание сажи в масле и часто выражается в процентах сажи.

Для фиксирования количества света, поглощенного слоем масла разработано устройство – фотометр (рисунок 2). Фотометр сконструирован на базе аппаратной платформы *Arduino UNO* на основе микроконтроллера *ATmega328* [9].

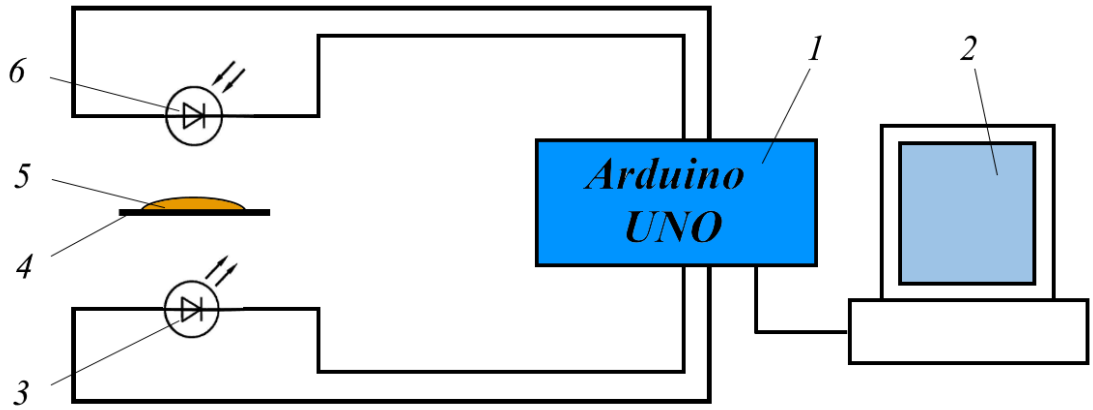


Рисунок 2 – Схема фотометра: *1* – аппаратная платформа *Arduino UNO*; *2* – персональный компьютер; *3* – светодиод; *4* – стеклянная подложка; *5* – капля масла; *6* – фотодиод

Разработанное устройство работает следующим образом. Капля масла *5* наносится на стеклянную подложку *4*, которую размещают между излучающим световой поток светодиодом *3* и воспринимающим поток фотодиодом *6*. Информация от фотодиода *6* поступает на аппаратную платформу *Arduino UNO 1*, запрограммированную на фиксирование интенсивности светового потока, проходящего через каплю масла, и далее отображается на мониторе персонального компьютера *2*.

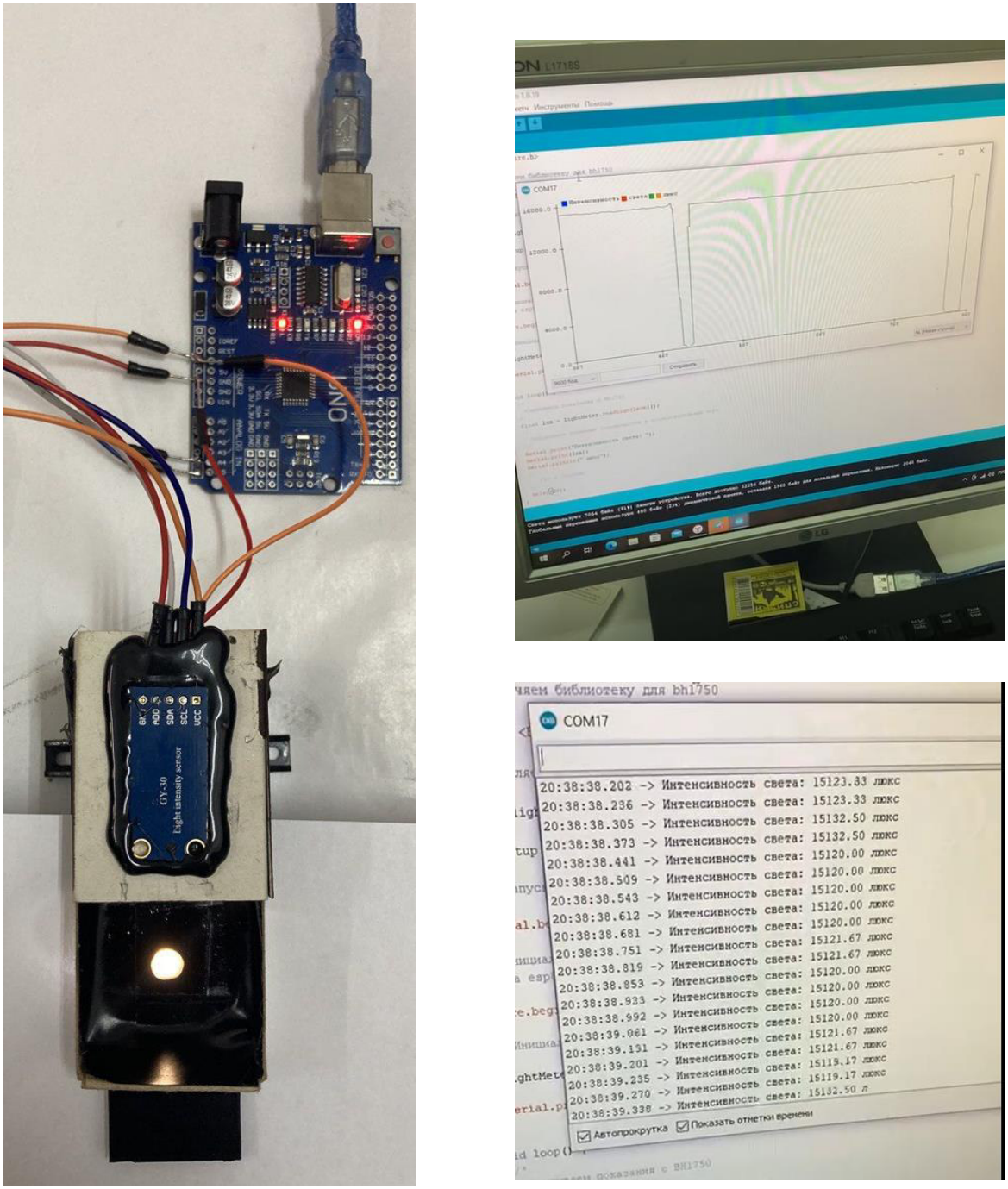
Светопоглащение масла характеризовали оптической толщиной ξ [10], которую принимали равной логарифму отношения интенсивности светового потока, прошедшего через свежее масло I_0, к интенсивности светового потока, прошедшего через работающее масло I:

$$\xi = \ln \frac{I_0}{I}.$$

Исследования определения сажи методом светопоглощения проводились на маслах

марки 10*W*40 *Deutz* с наработкой 0, 50, 100 и 270 ч.

Внешний вид устройства фотометра и пример результатов экспериментальных данных, полученных на мониторе компьютера, представлены на рисунке 3.



а *б*

Рисунок 3 – Фотометр: *а* – внешний вид устройства; *б* – пример результатов экспериментальных данных, полученных на мониторе компьютера

Результаты расчета оптической толщины ξ для масел марки 10*W*40 *Deutz* с наработкой 0, 50, 100 и 270 ч представлены на рисунке 4.

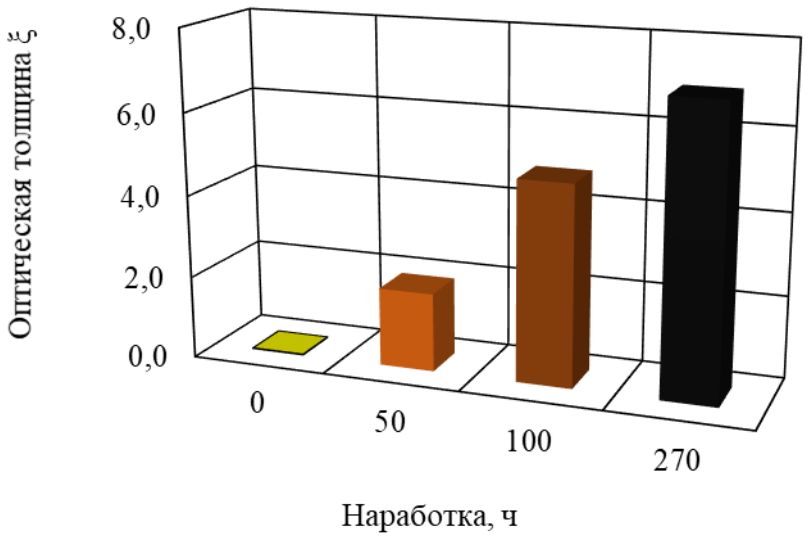


Рисунок 4 – Зависимость оптической толщины ξ масел марки 10*W*40 *Deutz* от наработки

Анализ полученных результатов (рисунок 4) показывает, что возрастание оптической толщины ξ с увеличением наработки, свидетельствует о увеличении светопоглощающей способности, а, следовательно, увеличению содержания сажи и продуктов окисления в моторном масле.

Полученные результаты исследований светопоглощающей способности при помощи фотометра, показывают возможность применения метода и устройства для определения содержания сажи и продуктов окисления моторного масла в условиях АПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rocca, A. La. Characterisation of soot in oil from a gasoline direct injection engine using Transmission Electron Microscopy // A. La Rocca [et al.]. // Tribology International. – 2015. – № 86. – P. 77-84.
2. Troyer, D. Get Ready for More Soot In Engine Oil / D. Troyer // Machinery Lubrication [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: https://www.machinerylubrication.com/Read/51/soot-oil-engine. – Дата доступа: 15.09.2022.
3. Fitch, J. Oil analysis basics / J. Fitch, D. Troyer. 2 Ed. – Tulsa: Noria Corporation, 2010. – 198 p.
4. Seifert, W.W. Measurement of Soot in Diesel Engine Lubricating Oil // W.W. Seifert, J.B. Desjardins / Journal of fuels & lubricants. – 1995. – Vol. 104. – P. 638-643.
5. Standard Test Method for Condition Monitoring of Soot in In-Service Lubricants by Trend Analysis using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry: ASTM D7844-21. – ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States, 2021. – 5 p.
6. Корнеева, В.К. Динамика растекания и проникновения капли моторного масла на фильтровальной бумаге / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, И.В. Закревский, П.М. Спиридович, А.Н. Рыхлик / Агропанорама. – 2021. – № 6. – С. 32-34.
7. Корнеева, В.К. Выбор фильтрующей подложки для оценки работоспособности моторного масла методом «Капельной пробы» / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, И.В. Закревский, А.Г. Кузнецов, П.М. Спиридович, А.Н. Рыхлик // Агропанорама. – 2022. – № 2 (150). – С. 36-42.
8. Корнеева, В.К. Определение вязкости моторного масла в условиях АПК / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, И.В. Закревский, П.М. Спиридович // Аграрное образование и наука для агропромышленного комплекса: материалы республиканской научно-практической конференции. Белорусская агропромышленная неделя БЕЛАГРО-2022 / редкол.: В.А. Самсонович (гл.ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2022. – С. 119-124.
9. Ismailov, A.S. Study of ARDUINO microcontroller board / A.S. Ismailov // Science and Education. – 2022. – V. 3. – P. 172-179.
10. Шифрин, К. С. Оптическая толщина // Физическая энциклопедия / Гл. ред. А. М. Прохоров. – Москва: Большая Российская энциклопедия, 1992. – Т. 3. – С. 443.