

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОТИГЕЛЬ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

**В.К. Корнеева,**

*доцент каф. технологии металлов БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**В.М. Капцевич,**

*зав. каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор*

**И.В. Закревский,**

*ст. преподаватель каф. технологии металлов БГАТУ*

**В.В. Остриков,**

*студент агромеханического факультета БГАТУ*

**Е.В. Ковалевич,**

*студент факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ*

*В статье описан универсальный электротигель, способный работать в условиях предприятий АПК без необходимости подключения в сеть напряжением 230 В, поддерживать и контролировать постоянную требуемую температуру нагрева. Показана возможность использования электротигля для контроля содержания топлива, воды, оценки моюще-диспергирующих свойств и наличия частиц загрязнений в моторном масле в условиях предприятий АПК.*

*Ключевые слова: электротигель, моторное масло, экспресс-методы, вода, топливо, «капельная проба».*

*A universal electric crucible that can be used at agro-industrial enterprises without the need to connect to a 230 V network, maintain and control constant required heating temperature has been developed and described in the article. The possibility of using an electric crucible for monitoring the content of fuel, water, assessing detergent-dispersant properties and the presence of contaminants particles in engine oil when used at agro-industrial enterprises is shown.*

*Key words: electric crucible, engine oil, express methods, water, fuel, «blotter spot».*

### Введение

Моторное масло (ММ) двигателя внутреннего сгорания (ДВС) автотракторной техники является одной из важнейших его конструктивных составляющих [1]. В процессе эксплуатации ДВС ММ снижает потери на трение за счет создания на поверхностях трущихся пар прочной масляной пленки, обеспечивая в сопряжениях жидкостное трение, что уменьшает износ деталей. Кроме того, ММ постоянно и эффективно отводит тепло из зоны трущихся сопряжений и нагреваемых деталей, защищает их от коррозии, удаляет с трущихся поверхностей деталей продукты износа и другие загрязнения, препятствует прорыву рабочей смеси и продуктов сгорания в картеры двигателей [2, 3].

В процессе эксплуатации ММ в различных условиях работы сельскохозяйственной техники в АПК при высоких температурах и давлениях, а также при контакте с трибосопряжениями различных систем кривошипно-шатунного механизма (КШМ), цилиндропоршневой группы (ЦПГ), газораспределительно-

го механизма (ГРМ), системы воздухоочистки, топливоподдачи и охлаждения в нем непрерывно происходят количественные и качественные изменения – масло подвергается процессу старения. Этот процесс происходит в результате термического разложения самого масла, срабатывания присадок, загрязнения его продуктами износа, пылью, топливом и водой [4]. Поэтому изучение процесса старения ММ (изменения показателей его качества) позволяет, во-первых, оценивать работоспособность самого масла и возможность его дальнейшего использования и, во-вторых, получать информацию о состоянии механизмов, узлов и систем автотракторной техники.

Контроль показателей качества ММ проводится как в лабораторных условиях, так и с использованием экспресс-методов. Данные методы позволяют дать оценку качественных и количественных свойств ММ и состояния систем ДВС, и при этом не требуют использования дорогостоящего оборудования и осуществляются за короткий промежуток времени с применением простых приспособлений и устройств.

В мировой практике известны специализированные мини-лаборатории и портативные средства, позволяющие проводить анализ ММ на рабочем месте:

– лаборатория анализа масел и топлив «ПЛАН» (Россия) [5];

– судовая экспресс-лаборатория топлива и масла СЛТМ (Россия) [6];

– переносная лаборатория «Экспресс-ВНИИТиН» Всероссийского научно-исследовательского института использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (Россия, г. Тамбов) [7];

– портативная лаборатория компании *Kittiwake* (Великобритания) [8];

– комплект для тестирования *Mobil Serv Field Analysis* (США) [9];

– комплект для анализа промышленных масел *Mobil Serv Field* (США) [10].

Однако все перечисленные мини-лаборатории и портативные средства, за исключением «Экспресс-ВНИИТиН», предназначены для контроля ММ ДВС крупных промышленных предприятий и на морском транспорте. Эти лаборатории находятся в руках фирм-монополистов, которые узко специализируются на анализе конкретных марок ММ.

Следует отдать предпочтение экспресс-методам, которые можно реализовать в АПК, в том числе непосредственно в полевых условиях. Фирмы, специализирующиеся на контроле ММ в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники, отсутствуют в Республике Беларусь. Поэтому работа в данном направлении является своевременной и актуальной.

Одним из экспресс-методов определения качества ММ в полевых условиях является метод с использованием электротигля, разработанного А.Г. Гурьяновым [11, 12]. Применение такого устройства

позволяет определять наличие топлива и воды, а также оценивать моюще-диспергирующие свойства ММ.

С нашей точки зрения данный электротигель обладает рядом недостатков. Размещение нагревателя отдельно от тигля приводит к высокой тепловой инерции устройства. При определении воды в ММ затруднено наблюдение со дна тигля за поведением пузырьков водяного пара и восприятием звуковых сигналов при их схлопывании, а при проведении экспресс-теста «капельной пробы» невозможно получать одновременно несколько хроматограмм ММ, что повышает длительность проведения экспресс-теста.

Целью работы является совершенствование конструкции электротигля для проведения экспресс-контроля содержания топлива и воды в моторном масле, а также оценки его моюще-диспергирующих свойств в условиях предприятий АПК.

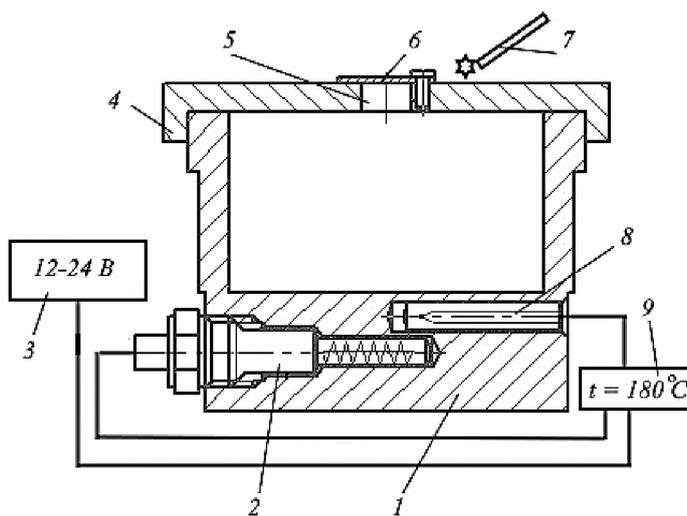
### Основная часть

Для достижения поставленной цели авторами разработан универсальный закрытый электротигель малого размера (рис. 1). Его апробация проводилась на примере масла Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 0,30 часов (показания счетчика – 1780 ч), 100 часов (показания счетчика – 1880 ч), 150 часов (показания счетчика – 1930 ч), взятого из ДВС Д-260 трактора БЕЛАРУС – 2022.3.

В донной части электротигля выполнены отверстия, в которых установлены термопреобразователь сопротивления и нагревательный элемент в виде свечей зажигания, соединенные с системой контроля и регулирования температуры, подключенной непосредственно к аккумулятору напряжением 12-24 В. Использование в качестве системы контроля и регулирования температуры реле-регулятора, объединенного



**а**



**б**

Рисунок 1. Закрытый электротигель: а – внешний вид; б – схема; 1 – корпус; 2 – нагревательный элемент; 3 – аккумулятор; 4 – крышка; 5 – отверстие; 6 – заглушка; 7 – запальник; 8 – термопара; 9 – система контроля и регулирования температуры

в единый блок совместно с аккумулятором, электронагревателем и термодарой, позволяет осуществить не только быстрый нагрев электротигля и поддержание требуемой температуры. При правильном выборе последовательности проведения экспресс-тестов, направленном на снижение температуры, позволяет осуществить контроль наличия топлива ( $180\pm 5$  °С) [13] и воды ( $160\pm 5$  °С) [14], моюще-диспергирующих свойств ( $80\pm 5$  °С) [15], а также снизить расход электроэнергии и времени осуществления оценки работоспособности моторного масла.

Электротигель с внесенными конструктивными изменениями (рис. 1) был использован для определения наличия топлива в моторном масле. Использование закрытого электротигля малого размера с отверстием в крышке позволяет интенсифицировать процессы теплообмена, приводящие к быстрому, равномерному кондуктивному нагреву всего масляного слоя. Испаряющиеся пары топлива, поднимаясь вверх, вытесняют через отверстие в тигле присутствующий в нем воздух, в результате чего свободное пространство электротигля заполняется испарившимся из масла топливом.

Для качественного контроля наличия топлива в ММ, электротигель с закрытой крышкой нагревали до температуры  $180\pm 5$  °С. Открывали крышку электротигля и заливали в него мерной ложкой 5 мл ММ и закрывали крышкой. Далее выдерживали одну минуту для прогрева масла до температуры электротигля. Приоткрывали крышку и подносили пламя запальника (горящая спичка). Наблюдение за отсутствием или наличием воспламенения проводили с фиксацией видеозаписи процесса. Суммарное время на проведение теста на наличие топлива в ММ составило 8 минут.

Результат отсутствия и наличия воспламенения представлен на рисунке 2.

Анализ полученных результатов (рис. 2) показывает, что в масле с наработкой 100 часов воспламенение отсутствует (рис. 2а), а также в маслах с наработкой 0 и 30 часов. В масле с наработкой 150 часов при нанесении запальника был зафиксирован звуковой хлопок и замечено кратковременное воспламенение паров топлива, зафиксировать которое на фотокадре за короткий промежуток времени не удалось. Доказательством этого воспламенения, сопровождающегося звуковым хлопком, может служить зафиксированный на фотокадре (рис. 2б) островытянутый факел пламени запальника, что свидетельствует о наличии топлива в данном ММ.

Для контроля наличия воды в ММ в электротигель дополнительно устанавливались специальные приспособления (рис. 3): цилиндрическая вставка (рис. 3а) с внутренней полостью в виде усеченного конуса и визуализирующее стекло в виде диска (рис. 3б), устанавливаемое на дно полости цилиндрической вставки.

Вставка с внутренней полостью в виде усеченного конуса работает как рупор. Звуковые волны не рассеиваются во все стороны, а образуют узконаправленный пучок, за счет чего мощность звука схлопывания пузырьков водяного пара в ММ увеличивается, и он распространяется на большее расстояние, что может быть зафиксировано с помощью звукозаписывающих устройств (например, мобильного телефона). Дополнительная установка визуализирующего стекла на дно вставки позволяет получить информацию за счет интерференции светового потока об отсутствии пузырьков, а при их наличии наблюдать за зарождением, ростом, слиянием и схлопыванием в виде, удобном для зрительного наблюдения, с одновременной фиксацией

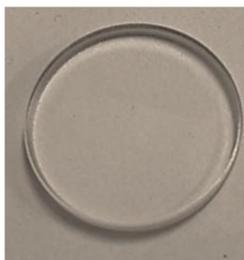


а



б

Рисунок 2. Результаты апробации определения наличия топлива в ММ марки Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой: а – 100 ч; б – 150 ч



**а**

**б**

**в**

Рисунок 3. Электротигель со специальными приспособлениями для определения наличия и количества воды в ММ:  
а – внешний вид цилиндрической вставки; б – внешний вид визуализирующего стекла;  
в – электротигель в сборе

фото- и видеоизображения с помощью видеокамеры.

Для контроля наличия воды в ММ с электротигля снимали крышку, удаляли остатки масла при помощи шприца и протирали дно салфеткой. В электротигле располагали вставку с визуализирующим стеклом и устанавливали систему контроля и регулирования температуры на  $160 \pm 5$  °С. Время установления температуры электротигля до заданной температуры составляло 3 минуты.

Тщательно перемешанную пробу исследуемого ММ наносили в количестве одной-двух капель на визу-

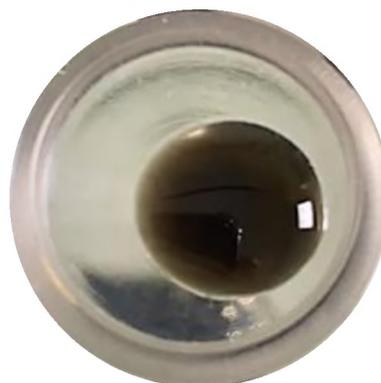
ализирующее стекло и проводили наблюдение за их поведением на нагретой поверхности. Фиксацию процесса осуществляли при помощи видеокамеры (рис. 4).

Анализ видеонаблюдения эксперимента показал отсутствие зарождения и роста паровых пузырьков в ММ, что свидетельствует об отсутствии в нем воды и охлаждающей жидкости.

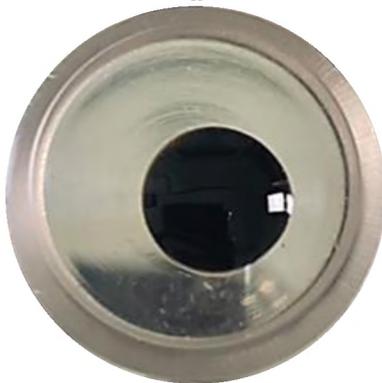
Для подтверждения работоспособности экспресс-теста определения наличия воды авторами было проведено дополнительное исследование, заключающееся в искусственном введении воды в свежее



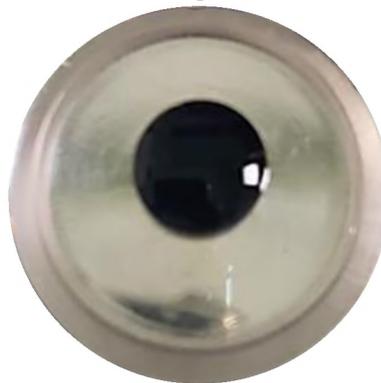
**а**



**б**



**в**



**г**

Рисунок 4. Результаты апробации определения наличия воды в ММ марки Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой: а – 0 ч; б – 30 ч; в – 100 ч; г – 150 ч

ММ марки Лукойл Авангард 10W40 в количествах 0,1, 0,2 и 0,4 %. Результаты эксперимента представлены на рисунке 5.

Анализ видеонаблюдения процесса показал, что при введении в масло воды в количестве 0,1 % происходит образование мелких пузырей размерами порядка 0,5 мм (рис. 5а). На видеозаписи видно, что эти пузыри быстро исчезают. При введении воды в количестве 0,2 % происходит образование более крупных пузырей размерами порядка 2 мм (рис. 5б), они перемещаются к центру капли и увеличиваются в размере. При введении воды в количестве 0,4 % происходит образование пузырей размером до 3 мм (рис. 5в), они увеличиваются в размере, процесс образования пузырей повторяется и происходит выплеск масла на стенки конической вставки, а аудиозапись фиксирует треск.

Для оценки моюще-диспергирующих свойств ММ методом «капельной пробы», электротигель до-

полнительно укомплектовывался специальными приспособлениями (рис. 6): набором держателей бумаги в виде колец (рис. 6а), фиксатором капельницы (рис. 6б) с отверстием для жесткого ее крепления по центру электротигля на фиксированном расстоянии от фильтровальной бумаги, капельницей (одноканальная микропипетка JOANLAB с регулируемым объемом 10-50 мкл) (рис. 6в).

Для реализации метода «капельной пробы» при определении моюще-диспергирующих свойств ММ, из электротигля извлекали цилиндрическую вставку с визуализирующим стеклом, устанавливали на дно два кольца держателей, между которыми располагали фильтровальную бумагу. На верхнее кольцо держателей фильтровальной бумаги устанавливали фиксатор капельницы с капельницей на фиксированном расстоянии от фильтровальной бумаги, равном 12,5 мм, и наносили первую каплю ММ (наработка 30 ч) объемом 15 мкл. Затем удаляли фиксатор



Рисунок 5. Результаты апробации свежего ММ марки Лукойл Авангард 10W40 с различным количеством искусственно введенной воды: а – 0,1 %; б – 0,2 %; в – 0,4 %

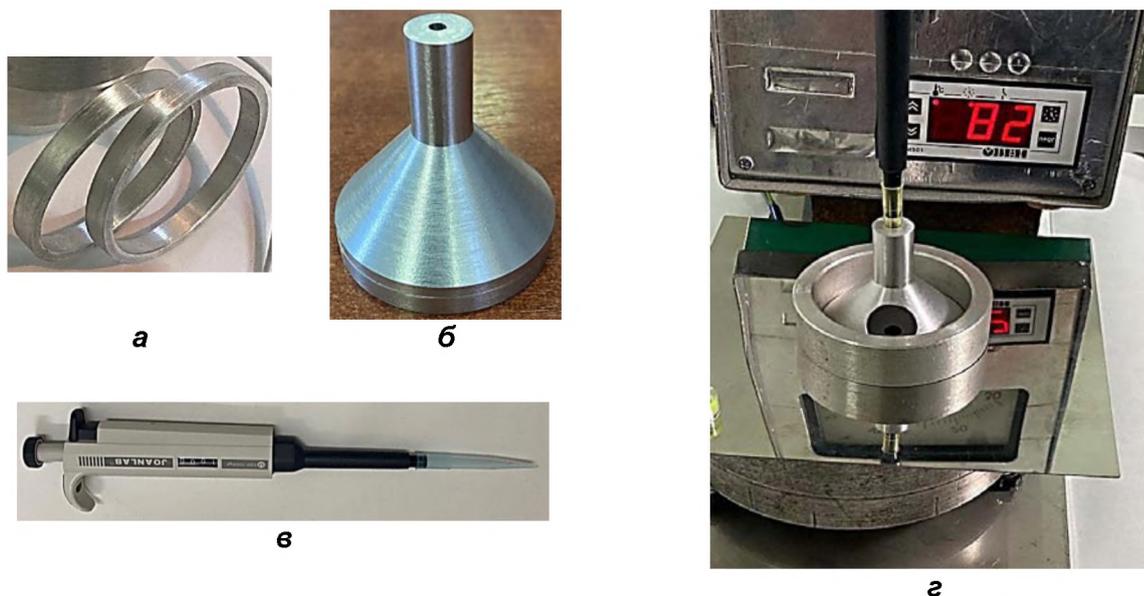


Рисунок 6. Электротигель со специальными приспособлениями для реализации экспресс-теста определения моюще-диспергирующих свойств ММ: а – держатели бумаги; б – фиксатор капельницы; в – капельница; г – электротигель в сборе

капельницы с капельницей из электротигля. На верхнем кольце держателей располагали фильтровальную бумагу и третье кольцо держателей. На третье кольцо держателей устанавливали фиксатор капельницы с капельницей и наносили вторую каплю ММ (наработка 100 ч). Аналогичным образом наносилась третья капля ММ (наработка 150 ч). Электротигель закрывали крышкой и устанавливали систему контроля и регулирования температуры на  $80 \pm 5$  °С. Время установления до заданной температуры составляло 4 минуты. Процесс формирования хроматограмм на фильтровальной бумаге осуществлялся в течение 30 минут.

Полученные хроматограммы с четко выраженными границами ядра и диффузионной зоны представлены на рисунке 7.

На полученных хроматограммах измеряли диаметры ядра и диффузионной зоны и проводили оценку моюще-диспергирующих свойств по показателю диспергирующей способности (ДС) ММ по формуле:

$$ДС = 1 - \frac{d^2}{D^2},$$

где  $d$  – диаметр ядра, мм;

$D$  – диаметр диффузионной зоны, мм.

Результаты расчета диспергирующей способно-

сти марки Лукойл Авангард 10W40 представлены в таблице.

**Таблица. Диспергирующая способность ММ марки Лукойл Авангард 10W40**

Наработка, ч	30	100	150
ДС	0,77	0,65	0,62

Анализ полученных результатов показывает, что исследуемые масла являются работоспособными по показателю ДС. Изменения интенсивности цвета ядра и зоны диффузии с увеличением наработки ММ (рис. 7) свидетельствуют о повышении количества сажи, продуктов срабатывания присадок, нерастворимых продуктов окисления и механических частиц различного происхождения.

На рисунке 8 представлены хроматограммы ММ при рассмотрении «на просвет».

Отсутствие светлого ореола (рис. 8а), окружающего зону диффузии, свидетельствует об отсутствии топлива в ММ с наработкой 30 ч, а его присутствие (рис. 8б, в) – о наличии топлива. Чем больше толщина ореола, тем больше топлива в ММ.

Наличие топлива в ММ с наработкой 100 и 150 ч, установленное методом «капельной пробы», также подтверждается ранее полученными результатами о

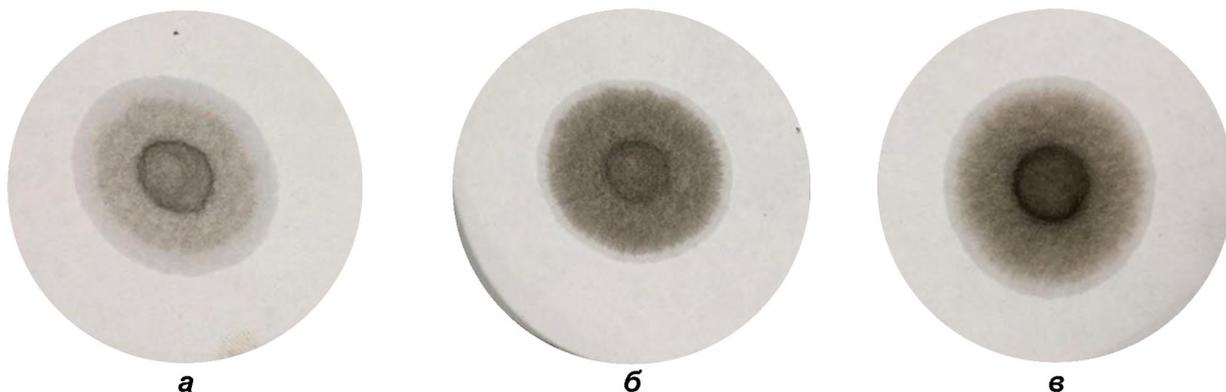


Рисунок 7. Хроматограммы ММ марки Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой: а – 30 ч; б – 100 ч; в – 150 ч

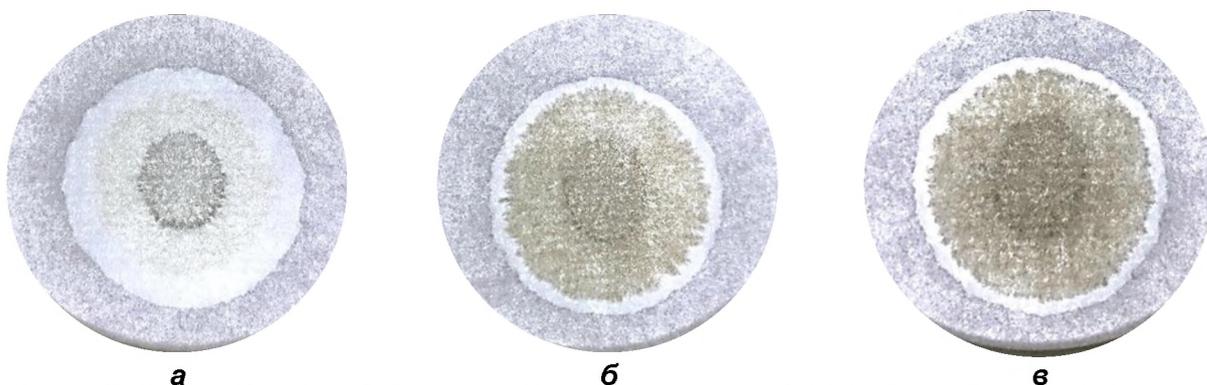


Рисунок 8. Хроматограммы «на просвет» ММ марки Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой: а – 30 ч; б – 100 ч; в – 150 ч

снижении вязкости этих ММ и зафиксированным воспламенением ММ с наработкой 150 ч.

Полученные и подтвержденные результаты по наличию топлива в ММ позволяют сделать заключение о нарушении работы топливной системы ДВС.

#### Заключение

Изготовлен универсальный электротигель, в конструкцию которого внесены следующие изменения. Электронагреватель в виде свечей накаливания и термopара размещены непосредственно в донной части тигля и связаны с системой контроля и регулирования температуры. При определении наличия и количества воды электротигель дополнительно оснащен вставкой с внутренней конической поверхностью и визуализирующим стеклом, что позволяет увеличить мощность звука схлопывания пузырьков водяного пара и получить более четкую визуальную информацию о поведении пузырьков. При определении моюще-диспергирующих свойств ММ методом «капельной пробы» в электротигель дополнительно устанавливаются: набор держателей бумаги, капельница и фиксатор капельницы. Это позволяет повысить производительность проведения экспресс-теста за счет одновременного получения нескольких хроматограмм за короткий промежуток времени.

Проведенная апробация усовершенствованного электротигля при определении наличия топлива, воды и оценке моюще-диспергирующих свойств ММ доказала его работоспособность при осуществлении экспресс-методов в полевых условиях АПК.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Резников, В.Д. Надежность моторного масла как элемента конструкции двигателя / В.Д. Резников // Химия и технология топлив и масел. – 1981. – №8. – С. 24-27.

2. Григорьев, М.А. Качество моторного масла и надежность двигателей / М.А. Григорьев, Б.М. Бунаков, В.А. Долецкий – М.: Издательство стандартов, 1981. – 232 с.

3. Fitch, J. Oil analysis basics / J. Fitch, D. Troyer. 2 Ed. – Tulsa: Noria Corporation, 2010. – 198 p.

4. Капцевич, В.М. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства: монография / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2007. – 232 с.

5. Портативная лаборатория анализа масел и топлив / Лабораторное оборудование ПЛАМ-3 [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <http://proflab.com.ua/produkt/product-details/2785-plam-3-portativnaya-laboratoriya-analiza-masel-i-topliv.html>. – Дата доступа: 05.07.2021.

6. Судовая экспресс-лаборатория контроля топлив и масел СЛТМ-2 / Крисмас [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: [https://shop.christmas-plus.ru/catalog/sudovye\\_laboratorii/sltm\\_2\\_sudovaya\\_ekspress\\_laboratoriya\\_kontrolya\\_topliv\\_i\\_masel/](https://shop.christmas-plus.ru/catalog/sudovye_laboratorii/sltm_2_sudovaya_ekspress_laboratoriya_kontrolya_topliv_i_masel/). – Дата доступа: 05.07.2021.

7. Экспресс-лаборатория для оценки качества масел / ФГБНУ «ВНИИТиН» [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: [http://vniitin.ru/services/service\\_7/service\\_7\\_1](http://vniitin.ru/services/service_7/service_7_1). – Дата доступа: 06.07.2021.

8. Kittiwake Oil Test Centre / Your Global Distribution Specialists [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access : <http://dsi-ltd.com/Product-Oil-Test-Centre.asp>. – Date of access: 07.07.2021.

9. Mobil Serv Field Analysis Test Kit / Your Global Distribution Specialists [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <http://dsi-ltd.com/Product-Field-Analysis-Test-Kit.asp>. – Date of access: 10.07.2021.

10. Mobil Serv Field Industrial Oil Analysis Kit / Your Global Distribution Specialists [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <http://dsi-ltd.com/Product-Field-Industrial-Oil-Analysis-Kit.asp>. – Date of access: 10.07.2021.

11. Гурьянов, Ю.А. Экспресс-методы и средства диагностирования агрегатов машин по параметрам масла: дисс. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / Ю.А. Гурьянов. – Челябинск, 2007. – 371 л.

12. Гурьянов, Ю.А. Устройство для определения качества моторного масла: а.с. SU 1763976 / Ю.А. Гурьянов. – Опубл. 23.09.1992.

13. Способ определения концентрации топлива в маслах: пат. RU 2 324 167 / Ю.А. Гурьянов. – Опубл. 10.05.2008.

14. Fitch, J.C. The Lubrication Field Test and Inspection Guide / J.C. Fitch // Noria Corporation. – 2000. – 36 p.

15. Standard Test Method for Measuring the Merit of Dispersancy of In-Service Engine Oils with Blotter Spot Method: ASTM D7899-19. – ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019. – 7 p.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.04.2023