

УДК 631.3-6

ДИНАМИКА РАСТЕКАНИЯ И ПРОНИКНОВЕНИЯ КАПЛИ МОТОРНОГО МАСЛА НА ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ БУМАГЕ

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

П.М. Спиридович,

магистрант каф. технологии металлов БГАТУ

А.Н. Рыхлик,

магистрант каф. технологии металлов БГАТУ

В статье представлены результаты проведенных экспериментальных исследований динамики растекания капли нового, используемого и отработанного моторного масла по поверхности фильтровальной бумаги и проникновение масла в ее поровые каналы.

Ключевые слова: капельная проба, новое, используемое и отработанное моторное масло, фильтровальная бумага, стадии растекания и проникновения, загрязненность.

Experimental studies of the spreading dynamics of a drop of newly used and waste engine oil over the surface of filter paper and the penetration of oil into its pore channels have been carried out.

Key words: drop sample, newly used and waste engine oil, filter paper, spreading and penetration stages, contamination.

Введение

В настоящее время одновременно с ростом энергонасыщенности отраслей АПК возникает острая необходимость не только контроля качества используемых новых моторных масел, но и отслеживания изменения свойств работающих масел непосредственно в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники. В моторном масле в процессе эксплуатации непрерывно происходят как количественные, так и качественные изменения – масло «стареет». Старение масла обусловлено тесно взаимосвязанными между собой термическими, физико-химическими и трибологическими процессами, протекающими в масляной системе ДВС. Под действием этих процессов старение моторного масла происходит в результате его загрязнения пылью, продуктами износа, водой или охлаждающей жидкостью, топливом, продуктами разложения самого масла и срабатывания присадок.

Одним из наиболее распространенных и простых методов оценки состояния работающего моторного масла является метод «капельной пробы» – метод *Blotter Spot*, заключающийся в нанесении капли масла на фильтровальную бумагу и последующем анализе полученного масляного пятна [1]. Метод «капельной пробы» является наиболее информативным органолептическим методом, позволяющим по бумажной хроматограмме масляного пятна выделить кольцевые зоны и оценить моюще-диспергирующие свойства, наличие

воды и топлива, а также загрязненность моторного масла нерастворимыми примесями. Метод позволяет определить критическое состояние моторного масла, а именно: потерю моюще-диспергирующих свойств, предельно допустимое содержание воды, топлива и нерастворимых примесей, что в конечном итоге дает возможность сделать заключение о целесообразности дальнейшего использования масла.

В работах [1-5] приведена методика проведения метода «капельной пробы» с последующим анализом полученных хроматограмм, в том числе с использованием компьютерных технологий, описаны характерные особенности получаемых кольцевых зон, показаны расчеты общей загрязненности масла и его диспергирующих свойств. Однако данные о процессе формирования кольцевых зон, связанном с поведением капли масла на фильтровальной бумаге, динамике ее растекания и впитывания, в литературе отсутствуют.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование динамики поведения капли нового, используемого и отработанного моторного масла на фильтровальной бумаге.

Основная часть

Процесс растекания капли и проникновения жидкости на тонкой пористой подложке носит сложный характер. Исследователи в работах [6-8] считают, что этот процесс протекает в три стадии (рис. 1).

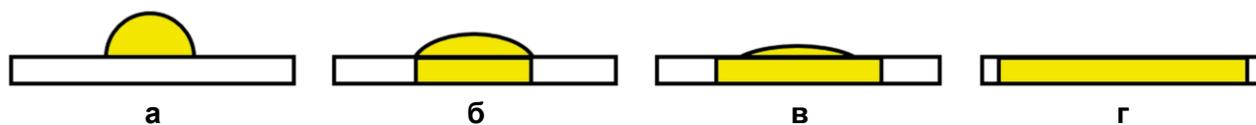


Рисунок 1. Стадии процесса растекания капли и проникновения жидкости на тонкой пористой подложке: а – падение капли на подложку; б – I стадия; в – II стадия; г – III стадия

На первой стадии, после попадания капли на подложку (рис. 1а), происходит ее растекание по поверхности с увеличением диаметра основания и уменьшением высоты капли. Одновременно происходит проникновение жидкости в поровые каналы подложки в вертикальном направлении до момента их полного заполнения по толщине подложки (рис. 1б). На второй стадии продолжается уменьшение высоты капли, а диаметр ее основания остается постоянным. При этом проникновение жидкости в поровые каналы подложки осуществляется в радиальном направлении (рис. 1в). Начало третьей стадии можно охарактеризовать полным исчезновением капли, а дальнейшее проникновение масла в мелкие и большие поровые каналы подложки в радиальном направлении продолжается (рис. 1г).

Рассмотрим растекание и проникновение капель моторных масел марки 10W40 различной загрязненности (свежее, работающее (30 ч); отработанное (230 ч)) на фильтровальной бумаге «синяя лента» (размер пор 3–5 мкм, толщина 0,16 мм, пористость 0,78–0,8).

Для нанесения капли масла на фильтровальную бумагу собиралась установка (рис. 2), состоящая из каплеуловителя 1, закрепленного вертикально на штативе 2, с возможностью регулирования объема и высоты падения капли. Объем капли выбирался равным 15 мкл, высота падения – 25 мм.

В процессе проведения эксперимента, при помощи камеры мобильного телефона фиксировалось видеоизображение поведения капли (вид сбоку и вид сверху) с момента нанесения ее на фильтровальную

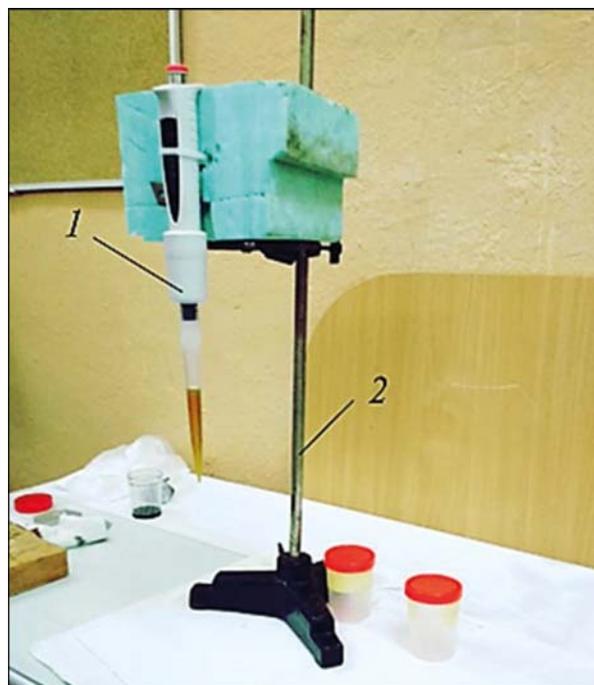


Рисунок 2. Внешний вид установки для нанесения капли на фильтровальную бумагу

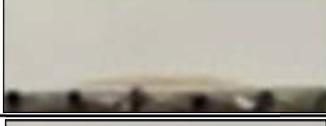
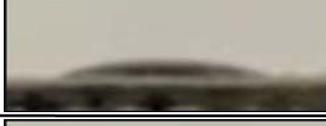
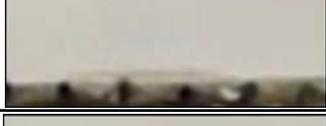
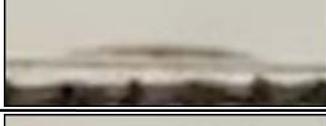
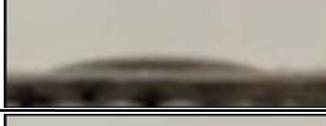
бумагу и в процессе последующего растекания и проникновения в течение 100 с.

Результаты проведения исследований динамики изменения формы капель при растекании на фильтровальной бумаге приведены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение формы капель при растекании (вид сбоку)

Время, t, с	Моторное масло		
	новое	используемое	отработанное
0			
1			
2			
3			

Продолжение таблицы 1

Время, t, c	Моторное масло		
	новое	используемое	отработанное
4			
5			
10			
20			
50			
100			

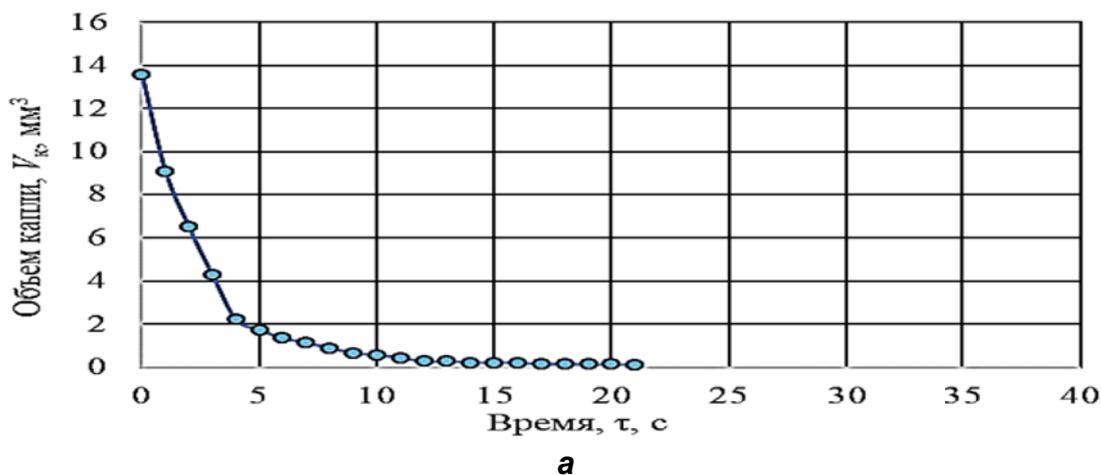
По полученным фотографиям были измерены изменения во времени геометрических параметров каплей (диаметры оснований и высота), а также произведен расчет их объема. Для оценки трех характерных стадий динамики поведения каплей нового моторного масла и масел различной степени загрязненности были построены зависимости изменения объема каплей V_k от времени t (рис. 3).

Анализ полученных графических зависимостей подтверждает наличие трех стадий динамики поведения каплей, как нового, так и загрязненных масел. Однако время протеканий (окончаний) стадий для

рассмотренных масел различно (табл. 2).

Следует отметить, что для отработанного масла на третьей стадии капля не исчезает, и на протяжении всей стадии ее объем практически не уменьшается. Последнее может свидетельствовать о том, что на поверхности бумаги длительное время сохраняется гелеобразный слой нерастворимых продуктов деградации самого моторного масла.

Фотографии каплей масел (вид сверху) на фильтровальной бумаге на различных стадиях процесса представлены на рисунке 4.



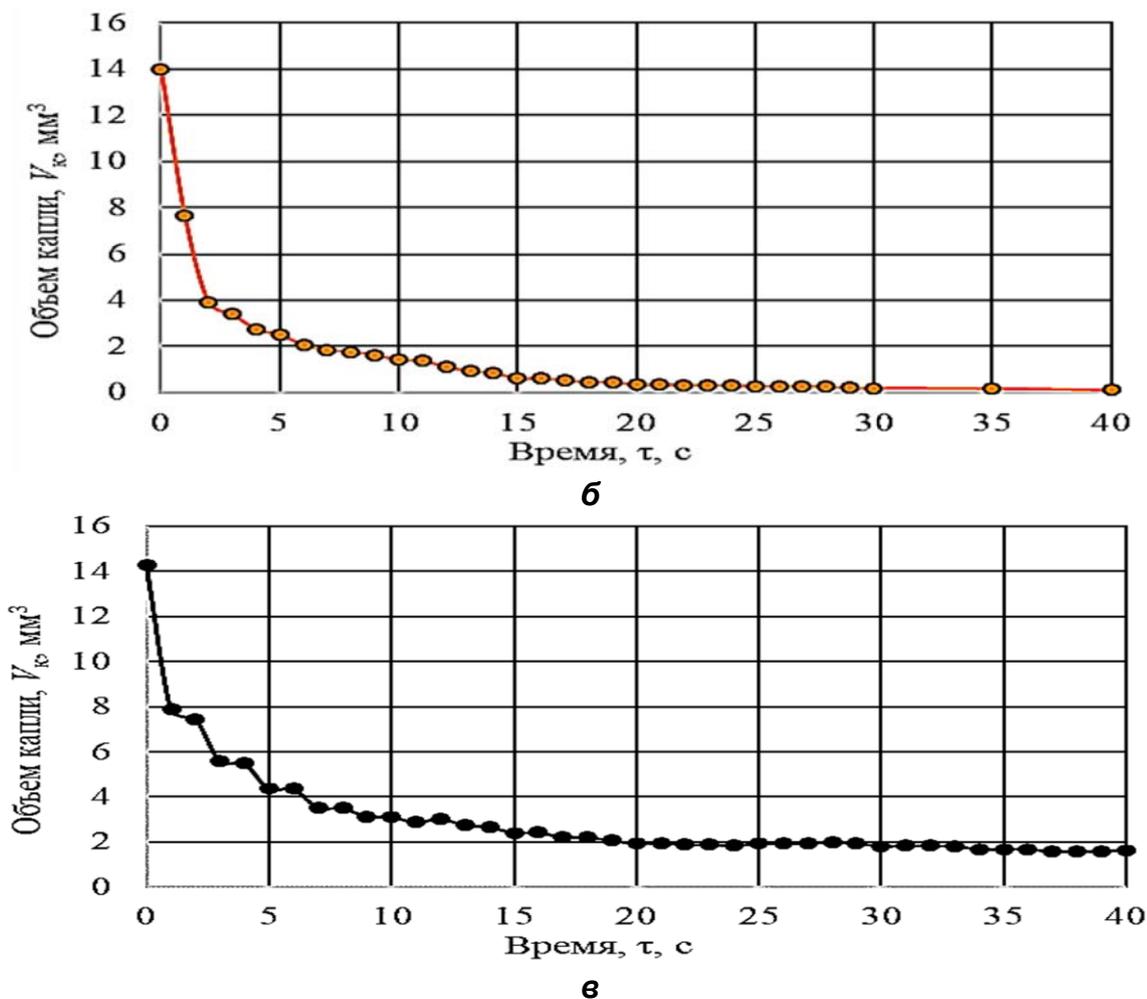


Рисунок 3. Зависимости изменения объема капель V_k от времени τ протекания стадий процесса динамики растекания и проникновения капель: а – новое масло; б – используемое масло; в – отработанное масло

Таблица 2. Время протекания стадий динамики поведения капель

Состояние масла	Время окончания стадий, с		
	I	II	III
Свежее	0–4	4–12	Свыше 12
Работающее	0–2	2–20	Свыше 20
Отработанное	0–1	1–20	Свыше 20



а

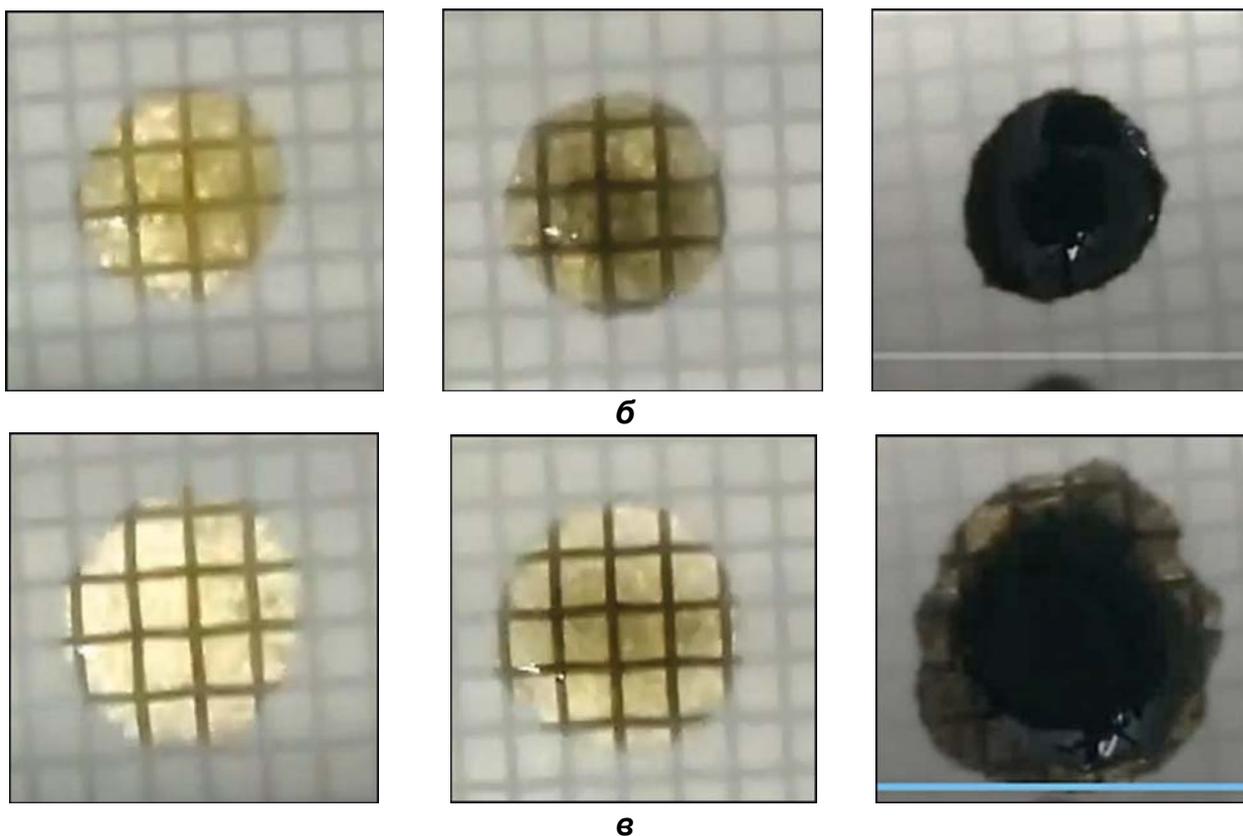


Рисунок 4. Фотографии каплей масел (вид сверху) на различных стадиях процесса динамики поведения каплей: а – I стадия (0 с); б – II стадия (5 с); в – III стадия (новое и используемое масло – 20 с, отработанное – 100 с)

Заключение

Проведены экспериментальные исследования динамики растекания капли нового, используемого и отработанного моторного масла по поверхности фильтровальной бумаги и проникновение масла в ее поровые каналы. Подтверждено наличие трех стадий динамики поведения каплей, как нового, так и загрязненных моторных масел. Установлено, что время протеканий (окончаний) стадий для рассмотренных масел различно. Выявлено, что для отработанного масла на третьей стадии капля не исчезает, и на протяжении всей стадии ее объем практически не уменьшается. Последнее свидетельствует о том, что на поверхности бумаги длительное время сохраняется гелеобразный слой нерастворимых продуктов деградации самого моторного масла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. Розбах, О.В. Экспресс-диагностика качества высокощелочных моторных масел способом «капель-

ной пробы»: дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / О.В. Розбах. – Омск, 2006. – 137 л.

3. Способ экспресс-оценки рабочих свойств работающих моторных масел в полевых условиях методом «масляного пятна»: пат. RU 2 563 206 / А.В. Дунаев, С.А. Соловьев. – Оpubл. 20.09.2015.

4. Серков, А.П. Совершенствование обслуживания автотранспортных средств за счет диагностики технического состояния эксплуатационных материалов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.П. Серков. – Омск, 2018. – 189 л.

5. Хорстмейер, Г. Способ и устройство для анализа масел и технических рабочих жидкостей и для квалифицированной оценки рабочих состояний элементов: пат. RU 2 649 095/ Г. Хорстмейер. – Оpubл. 29.03.2018.

6. Spreading of liquid drops over porous substrates / V.M. Starov [et al] // Advances in Colloid and Interface Science. – 2003. – № 104. – P. 123-158.

7. Rosenholm, J.B. Liquid spreading on solid surfaces and penetration into porous matrices: Coated and uncoated papers / J.B. Rosenholm // Advances in Colloid and Interface Science. – 2015. – № 220. – P. 8-53.

8. Chebbi, R. Absorption and spreading of a liquid droplet over a thick porous substrate / R. Chebbi // ACS Omega. – 2021. – № 6. – P. 4649-4655.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.11.2021