

государственное автономное учреждение «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» [5].

Литература:

1. Правила устройства электроустановок [Текст]. 7-е изд. - М. : ЗАО «Энергосервис», 2002. - 280 с.
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [Текст]. - Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. - 251 с.
3. Никольский, О.К. Моделирование техногенных рисков электроустановок производственных объектов на основе анализа человека- машинных систем / О.К. Никольский, Ю.Д. Шлионская, И.А. Шаныгин // Электротехника. – 2018. - № 12. – С. 37-44
4. Дробязко, О.Н. Методология анализа рисков опасности электро-установок человеко-машинных систем на основе нечетких множеств / О.Н. Дробязко, О.К. Никольский // Энерго-ресурсосбережение - XXI век.: материалы XIV международной научно-практической интернет-конференции; под редакцией д-ра техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. Наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орёл : Госуниверситет - УНПК, 2016. – С. 58-64.
5. «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» [Электронный ресурс] режим доступа: <http://www.sf-kras.ru/>

УДК 631.3-6

**ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВС МЕТОДОМ
МЕМБРАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ МОТОРНОГО МАСЛА**

Корнеева Валерия Константиновна
lerakor1974mail.ru

Капцевич Вячеслав Михайлович
slavakar47@mail.ru

Закревский Игорь Владимирович
iv_zakrevski@mail.ru

Рыхлик Антон Николаевич
n152089n7@gmail.com

Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Показана возможность применения метода мембранной фильтрации для оценки общей загрязненности моторного масла, размеров, количества и формы частиц загрязнений, позволяющей по состоянию масла судить о процессах, происходящих в трибосопряжениях ДВС.

Ключевые слова: масло, мембранная фильтрация, фильтрограмма, общая загрязненность, размер, форма, количество частиц, классы чистоты

**POSSIBILITIES OF EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE ICE BY THE
METHOD OF MEMBRANE FILTERING OF ENGINE OIL**

Korneeva Valeria Konstantinovna
Kaptsevich Vyacheslav Mikhailovich

Zakrevsky Igor Vladimirovich
Rykhlik Anton Nikolaevich

Belarusian state agrarian technical university, Minsk, Republic of Belarus

The paper shows the possibility of using the membrane filtration method for assessing the total contamination of engine oil, the size, quantity and shape of contaminant particles, which makes it possible to judge the processes occurring in the tribo-couplings of an internal combustion engine by the state of the oil.

Key words: oil, membrane filtration, filter pattern, total contamination, size, shape, number of particles, purity classes

Проблема обеспечения надежности и долговечности является одной из основных в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники, важнейшим агрегатом которой является ДВС.

Основным средством поддержания необходимого уровня работоспособности ДВС является правильная организация процесса его эксплуатации, составляющей которой является своевременное диагностирование, определяющее действительное техническое состояние ДВС.

Диагностика состояния рабочих механизмов ДВС, работающих в условиях смазки, может успешно осуществляться путем контроля загрязненности моторного масла и ее количественной и качественной оценки. К методам диагностики состояния ДВС, основанные на анализе загрязненности моторного масла, можно отнести [1] спектральные методы анализа (эмиссионная спектрофотометрия, атомно-абсорбционная спектроскопия, атомно-флуоресцентная спектрофотометрия, абсорбционная спектрофотометрия), феррография, оптическая микроскопия, метод ядерного магнитного резонанса, нейтронно-активационный анализ, хроматография и некоторые другие физические и физико-химические методы. Перечисленные методы предусматривают использование дорогостоящего оборудования, проведение сложных лабораторных исследований, требуют привлечения высококвалифицированных специалистов, что приводит к невозможности их использования в условиях предприятий агропромышленного комплекса.

К одному из перспективных методов анализа загрязненности моторного масла работающего ДВС является метод мембранной фильтрации, который в настоящее время нашел применение для проведения исследований в химии, микробиологии, биохимии, медицине и пищевой промышленности. В зарубежных странах (США, Великобритания, Китай, Индия, Новая Зеландия и др.) метод мембранной фильтрации, получивший название «патч-тестирование» (*Patch Test*), применяется также для анализа загрязненности топлив, смазочных материалов и других технических жидкостей.

Метод мембранной фильтрации на примере моторного масла работающего ДВС заключается в вакуумной фильтрации разбавленного образца масла через мембранный фильтр, высушивании фильтра в термостате и последующем анализе фильтрограммы (фильтра с осажденными на нем частицами загрязнений) различными методами. Схема установки для мембранной фильтрации представлена на рис. 1.

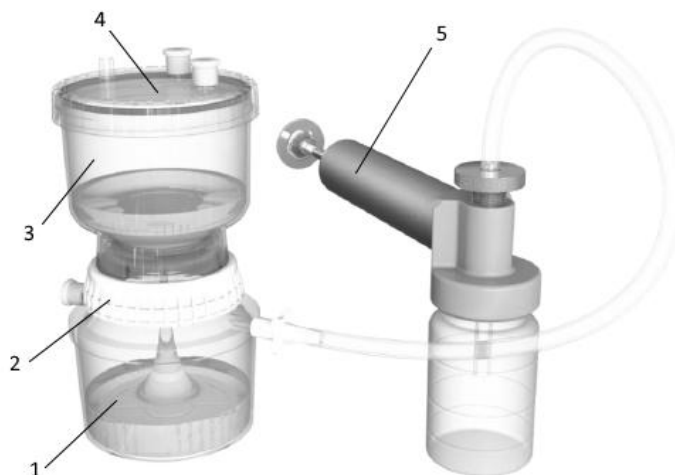


Рисунок 1 – Схема установки для изготовления фильтрограмм: 1 – колба; 2 – фильтродержателем с мембранным фильтром; 3 – воронка; 4 – крышка; 5 – вакуумный насос

Для оценки состояния топлив, смазочных материалов и технических жидкостей методами мембранной фильтрации разработаны различные стандарты *ISO*, *ASTM* (*American Society for Testing and Materials*) и *ГОСТ*. В этих стандартах отражены методики определения следующих показателей качества исследуемых жидкостей:

- общая загрязненность нерастворимыми механическими примесями по изменению массы мембранного фильтра [2, 3, 11, 13, 14];
- размер частиц, их количество и класс чистоты жидкости проведением микроскопического исследования [4, 5, 7, 12];
- форма и источник происхождения твердых частиц загрязнений проведением микроскопического исследования [10].

Рассмотрим методики определения показателей качества различных технических жидкостей методом мембранной фильтрации.

Оценка общей загрязненности нерастворимыми механическими примесями.

Оценка общей загрязненности моторного масла нерастворимыми механическими примесями заключается в предварительном взвешивании чистого фильтра и полученной фильтрограммы с использованием весов неавтоматического действия класса точности I с наибольшим пределом взвешивания 220 г, с погрешностью взвешивания не более 0,0002 г [2]. Массовая доля нерастворимых механических примесей определяется разностью масс фильтрограммы и чистого фильтра, высушенного при тех же условиях, отнесенной к массе пробы масла.

Оценка размеров и количества частиц, определение класса чистоты моторного масла.

Для оценки размеров и количества частиц, определения класса чистоты моторного масла используется микроскопический анализ фильтрограмм с использованием оптических микроскопов.

В настоящее время принято, что частицы износа, имеющие условный размер до 5 мкм, соответствуют гидродинамическому режиму смазки; до 15 мкм – граничному режиму; при переходном режиме смазки со следами схватывания условный размер частиц износа не более 150 мкм, при коррозионно-механическом изнашивании – до 150 мкм; при катастрофическом изнашивании – до 1000 мкм [1]. Соответственно, диаметр пор мембранного фильтра, выбирается равным минимальному размеру частиц, подлежащих изучению. На практике для определения и подсчета частиц загрязнений моторного масла могут быть использованы мембранные фильтры из смешанного эфира целлюлозы диаметром 47 мм с размерами пор 5 мкм и с нанесенной сеткой (каждый квадрат сетки стороной в $(3,08 \pm 0,05)$ мм) (рис. 2).

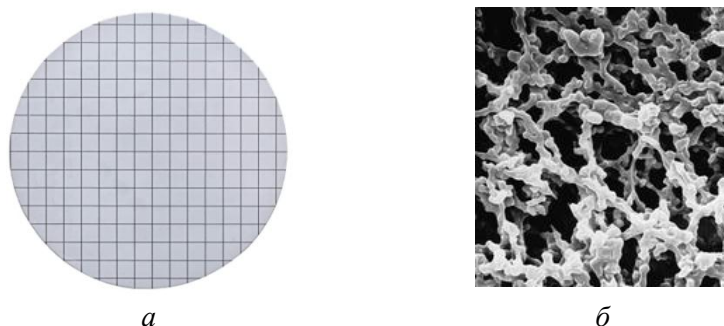


Рисунок 2 – Мембранный фильтр: а – внешний вид; б – микроструктура

Для проведения микроскопического исследования при определении размеров частиц необходимо использовать бинокулярный микроскоп с увеличением, позволяющим наглядно фиксировать объекты минимального размера 5 мкм. Микроскоп должен быть снабжен ступенчатым микрометром с делениями 0,1 и 0,01 мм. Размер частицы определяется ее наибольшим линейным размером (рис. 3). При определении размеров и количества частиц их классифицируют на размерные группы: ≥ 5 , ≥ 15 , ≥ 50 и ≥ 100 мкм [7]. Подсчет производят не на всей рабочей зоне фильтрования мембраны, а только на единичных зонах (квадраты сетки), количество которых может составлять 10, 20 или 50 (рис. 4) [5].

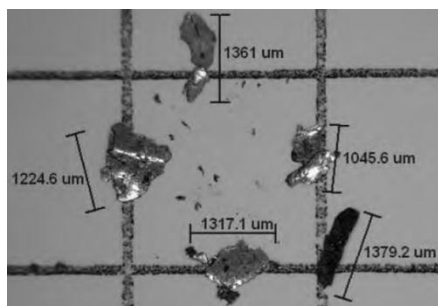


Рисунок 3 – Определение размера частицы

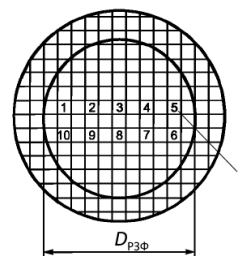


Рисунок 4 – Схема подсчета частиц с 10 единичными зонами: 1 – единичная зона; $D_{P3Ф}$ – диаметр рабочей зоны фильтрования

Определение размеров частиц и их количества позволяет не только оценить износ механизмов, но и определить класс чистоты моторного масла ДВС согласно стандарта ISO 4406 [7].

Международный стандарт ISO 4406 устанавливает систему кодирования, применяемую при определении количества твердых частиц в масле и позволяющую оценивать общую загрязненность моторного масла продуктами износа.

Код при подсчете частиц содержит три классифицирующих числа: первое классифицирующее число представляет количество частиц размером 4 мкм и более, второе – количество частиц размером равных 6 мкм и более, третье – количество частиц размером равных 14 мкм и более, содержащихся в 1 мл масла (табл.). Например, код 22/18/13 означает, что в 1 мл масла содержится от 20000 до 40000 частиц, размером 4 мкм и более, от 1300 до 2500 частиц, размером 6 мкм и более и от 40 до 80 частиц, размером 14 мкм и более.

Таблица – Распределение классифицирующих чисел, согласно ISO 4406 [7]

Количество частиц на 1 мл	Классифицирующее число	Количество частиц на 1 мл	Классифицирующее число
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
2 500 000	>28	80 – 160	14
1 300 000 – 2 500 000	28	40 – 80	13
640 000 – 1 300 000	27	20 – 40	12
320 000 – 640 000	26	10 – 20	11
160 000 – 320 000	25	5 – 10	10

Окончание таблицы

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
80 000 – 160 000	24	2,5 – 5	9
40 000 – 80 000	23	1,3 – 2,5	8
20 000 – 40 000	22	0,64 – 1,3	7
10 000 – 20 000	21	0,32 – 0,64	6
5 000 – 10 000	20	0,16 – 0,32	5
2 500 – 5 000	19	0,08 – 0,16	4
1300 – 2 500	18	0,04 – 0,08	3
640 – 1 300	17	0,02 – 0,04	2
320 – 640	16	0,01 – 0,02	1
160 – 320	15	0,00 – 0,01	0

На рис. 5 представлены примеры фильтрограмм различных классов чистоты ISO [9].

Моторное масло считается работоспособным если оно имеет класс чистоты ISO 20/17/14 [8] или 21/18/15 [6].

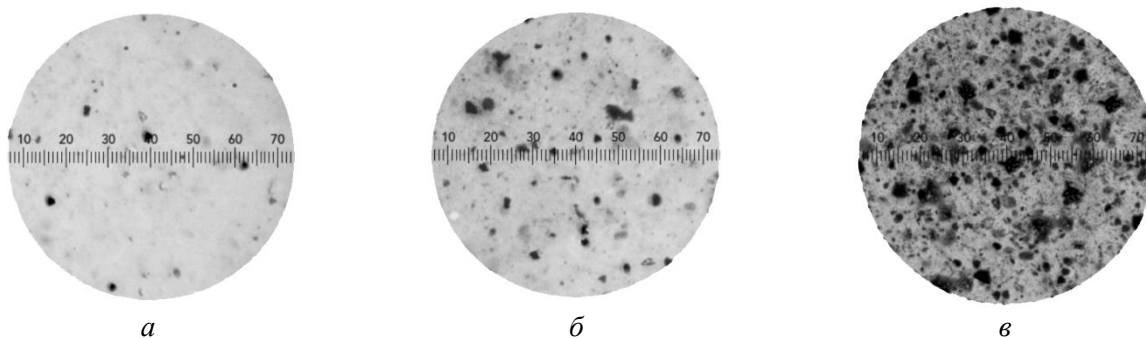


Рисунок 5 – Примеры фильтрограмм (увеличение 100×, 1 деление на шкале – 14 мкм) различных классов чистоты ISO: *а* – 18/16/13; *б* – 20/19/16; *в* – 26/24/21

Форма и источники происхождения твердых частиц загрязнений.

По форме и размеру частиц можно определить механизм изнашивания, а по цвету частиц можно судить о материале частиц.

Стандартом ASTM D7684 [10] установлены следующие характерные формы частиц износа (рис. 6):

- *пластины с гладкой поверхностью* (рис. 6, *а*) толщиной до 1 мкм и размером 5–15 мкм, образующиеся при нормальном изнашивании в результате отслаивания;
- *стиральные* (стружкообразные) *частицы* (рис. 6, *б*) шириной 2–5 мкм и длиной 25–100 мкм, возникающие при абразивном изнашивании деталей в результате микрорезания под действием

абразивных частиц. Такие частицы являются наиболее опасными: повышенное содержание крупных частиц длиной более 50 мкм приводит к отказу детали механизма;

– *сферические частицы* (рис. 6, в) диаметром 1–10 мкм, образующиеся в трещинах подшипников или зубчатых передачах в результате усталостного изнашивания. В дорожках качения и шариках подшипников при развитии микротрещин образуются тысячи сферических частиц; при этом один шарик подшипника может сгенерировать до $6,8 \times 10^6$ таких частиц перед тем, как он разрушится [15];

– *пластины с параллельными бороздками* на их поверхности (рис. 6, з) толщиной до 3 мкм, размером до 200 мкм, являющиеся результатом сильного изнашивания при заедании (задире) в условиях жесткого скольжения. Наличие таких частиц подтверждает сильный износ деталей, приводящий к отказу механизма в целом;

– *хлопьевидные частицы* (рис. 6, д), представляющие собой очень тонкие металлические частицы размером 20–50 мкм с отверстиями. Такие частицы генерируются в результате усталостного выкрашивания подшипников качения. Увеличение количества хлопьевидных частиц наряду со сферическими свидетельствует о наличии и развитии усталостных микротрещин подшипников качения;

– *крупные частицы* (рис. 1, е), образующиеся в зубчатых передачах в результате усталостного износа. Такие частицы обычно имеют гладкую поверхность и неправильную геометрическую форму с соотношением длины (ширины) к толщине от 4:1 до 10:1.

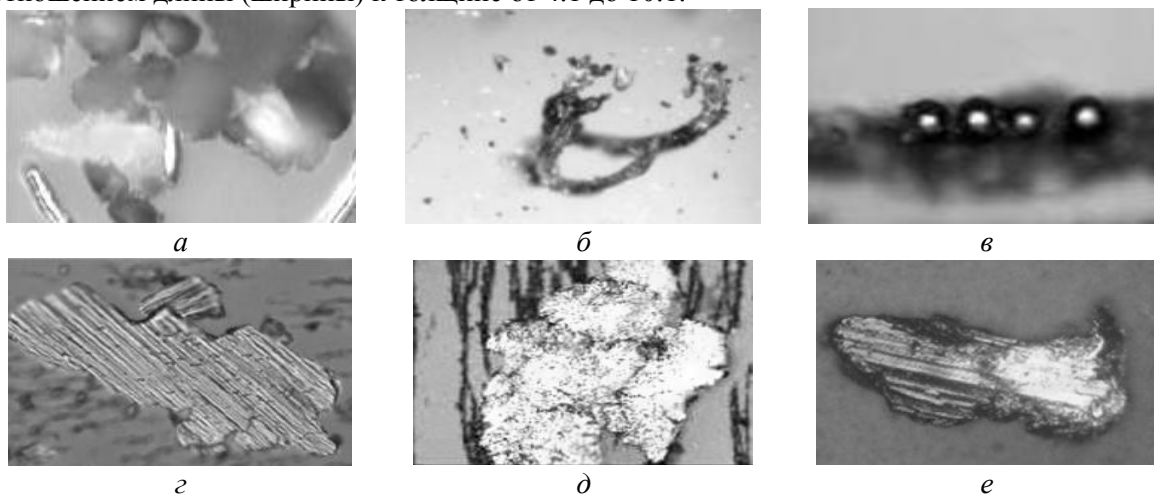


Рисунок 6 – Формы частицы износа: *а* – пластины с гладкой поверхностью; *б* – спиральные (стружкообразные) частицы; *в* – сферические частицы; *г* – пластины с параллельными бороздками; *д* – хлопьевидные частицы; *е* – крупные частицы

Литература:

1. Доценко, А.И. Основы триботехники / А. И. Доценко, И. А. Буяновский. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 335 с.
2. Метод определения механических примесей: ГОСТ 6370-2018. – Введ. 30.08.2018. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 11 с.
3. Топлива авиационные. Метод определения механических примесей: ГОСТ 32401-2013. – Введ. 14.11.2013. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 20 с., Нефть, нефтепродукты и присадки.
4. Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей: ГОСТ 17216-2001. – Введ. 24.05.2001. – Минск: Межгос. совет по стандарт., метрологии и сертиф., 2001. – 12 с.
5. Чистота промышленная. Определение загрязненности жидкости методом счета частиц с помощью оптического микроскопа: ГОСТ ИСО 4407-2006. – Введ. 24.06.2006. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 19 с.
6. Bestimmung der Reinheit von Öl, die Reinheitsklassen / fluidpflege.de [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://www.fluidpflege.de/2020/05/19/bestimmung-der-reinheit-von-%C3%B6l-die-reinheitsklassen/>. Date of access: 28.10.2021.
7. Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles ISO: 4406:1999. – International Organization for Standardization, 1999. – 13 p.
8. Reinheitsklassen für Schmierstoffe im Vergleich / oelCheck Wiki [Electronic resource]. – 1991. – Mode of access: <https://de.oelcheck.com/wiki/elementbestimmung-oel-kraftstoff-reinheitsklassen/>. – Date of access: 28.10.2021.

9. Rocky Mountain Filtration Solutions: A Companion Booklet to be used with The Portable Fluid Analysis Kit. – Colorado. – 22 p.

10. Standard Guide for Microscopic Characterization of Particles from In-Service Lubricants: ASTM D7684-11 (Reapproved 2016). – ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States, 2016. – 10 p.

11. Standard Test Method for Insoluble Contamination of Hydraulic Fluids by Gravimetric Analysis: ASTM D 4898-90 (Reapproved 1995). – ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, 1995. – 3 p.

12. Standard Test Methods for Microscopical Sizing and Counting Particles from Aerospace Fluids on Membrane Filters: ASTM F312-97 (Reapproved 2003). – ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, 2003. – 4 p.

13. Standard Test Method for Particulate Contamination in Aviation Fuels by Laboratory Filtration: ASTM D5452-12. – ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, 2012. – 11 p.

14. Standard Test Method for Particulate Contaminant in Aviation Fuel by Line Sampling: ASTM D 2276-05. – ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C 700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, 2005. – 10 p.

15. Westcott, V. Ferrographic Oil and Grease Analysis as Applied to Earthmoving Machinery. SAE Technical Paper 750555, 1975, <https://doi.org/10.4271/750555>.

УДК 621:658.382:3

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА РАБОТНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Маслова Татьяна Владимировна
Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
mtvmtv883@yandex.ru

В статье приводятся исследования на основе анализа травматизма, условий и безопасности труда на производственных предприятиях Красноярского края. На основе анализа причин производственного травматизма по отраслям выявлено, что на предприятиях лесозаготовительной промышленности, например, большинство несчастных случаев, происходит по причине неудовлетворительной организации производства работ и рабочих мест. Поскольку доминирующими причинами несчастных случаев на производстве являются организационные, то именно в организационных мерах кроется основной резерв улучшения условий и охраны труда на производственных предприятиях края.

Ключевые слова: травма, производство, одежда, обувь, защита, гигиена.

ANALYSIS OF WORKING CONDITIONS AND SAFETY OF WORKERS AT ENTERPRISES OF THE KRASNOYARSK TERRITORY

Maslova Tatyana Vladimirovna
Krasnoyarsk state agrarian university, Krasnoyarsk, Russia

The article presents research based on the analysis of injuries, working conditions and safety at industrial enterprises of the Krasnoyarsk Territory. Based on the analysis of the causes of industrial injuries by industry, it was revealed that at enterprises of the logging industry, for example, most accidents occur due to unsatisfactory organization of work and jobs. Since the dominant causes of accidents at work are organizational, it is in organizational measures that the main reserve for improving working conditions and labor protection at the production enterprises of the region lies.

Keywords: injury, production, clothing, footwear, protection, hygiene.

За последние годы на предприятиях Красноярского края в результате несчастных случаев на производстве было травмировано более 4 тысяч человек, из них, по данным Государственной инспекции труда в Красноярском крае, 173 несчастных случая - закончились смертью пострадавших. По сравнению с предыдущим периодом общее число смертельных случаев увеличилось [1].