

## PREPARATION OF EXTREME PRESSURE ADDITIVE BASED ON SULFURED METHYL ETHER OF SUNFLOWER OIL

### Abstract

The work presents the synthesis of a new extreme pressure additive and investigated its properties of increasing the welding load when added to industrial oil. The additive is obtained by reacting the methyl ester of fatty acids of sunflower oil with elemental sulfur in an inert atmosphere, followed by purification of the product.

*Keywords:* extreme pressure additives, sulfurization, methyl ester of sunflower oil fatty acids.

УДК 665.7

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-264

Д.И. Данилогорский<sup>1</sup>, Zhang Bufan<sup>2</sup>, А.Д. Бреки<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, danilogorik@mail.ru

<sup>2</sup>Changchun University, Changchun, 6543, Satellite Road, China

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА В ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

### Аннотация

В работе рассмотрен процесс старения масла Лукойл Люкс 5W40 в двигателе внутреннего сгорания автомобиля. Были взяты 9 образцов масла: 1 новое и 8 отработанных на разных этапах срока его службы. Эти пробы подвергались бумажной хроматографии и испытанию на индекс износа на машине трения ЧШМ-3,2. В результате проделанной работы, даны рекомендации по использованию данного моторного масла, которые позволяют продлить срок службы двигателя внутреннего сгорания.

*Ключевые слова:* Трение, износ, моторное масло, двигатель внутреннего сгорания, машина трения.

### Введение

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) автомобиля содержит ряд изнашивающихся в процессе работы пар трения. Для уменьшения сил трения, и, как одно из следствий, интенсивности изнашивания данных пар, существует множество мероприятий. Одно из них – использование смазочного материала – моторного масла. [1]

Моторное масло играет важную роль в работе двигателя. В процессе работы двигателя масло меняет свой состав, структуру, и как следствие, физико-химические (в том числе смазывающие) свойства. Это может негативно влиять на работу двигателя. С этой целью масло имеет заявленный срок службы – для синтетического масла это 15 000 км пробега. [2,3,4]

Суть работы заключается в том, что в двигатель автомобиля заправлялось свежее моторное масло и фиксировалась величина пробега ДВС в моточасах по счетчику. Через определенное количество моточасов работы из двигателя сливалась проба масла. Проводились испытания на индекс износа на машине трения. Также

производились капельные хроматограммы этого же масла. По полученным результатам сделан вывод об общем состоянии моторного масла, а также установлен рентабельный интервал замены моторного масла. [5,6]

Цель – Определить оптимальный интервал замены моторного масла на основании изменения его параметров в процессе работы ДВС.

Задачи:

- Провести качественный анализ моторного масла методом бумажной хроматографии;

- Провести сравнительные испытания моторного масла на машине трения ЧШМ-3,2;

- Установить критический пробег автомобиля, при котором значения параметров масла выходят за рамки допустимых.

### Методы и материалы

Для проведения испытаний на индекс износа использовалась четырехшариковая машина трения ЧШМ-3,2. Испытание проводилось методом четырех шариков с точечным контактом, погруженных в одну из проб моторного масла (Рис.1). [6]

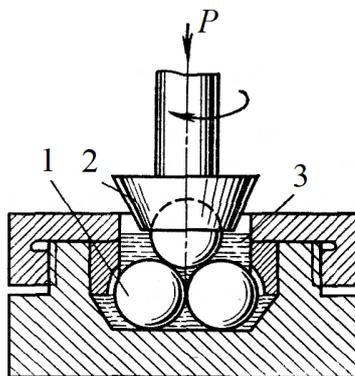


Рис.1 – Схема испытаний методом четырех шариков с точечным контактом:  
1 – неподвижные шарики; 2 – шарик, закрепленный во вращающемся шпинделе;  
3 – исследуемый смазочный материал

По окончании испытаний размеры полученных пятен износа измерялись в 2-х взаимно перпендикулярных направлениях при помощи металлографического микроскопа-микровизора  $\mu$ Vizo® MET.

Для оценки степени загрязненности и коэффицента моюще-диспергирующих свойств масла применялся метод бумажной хроматографии. Суть метода заключается в капании капли масла с высоты около 50 мм на беззольную фильтрованную бумагу «синяя лента», которую предварительно необходимо расположить на ровном непитывающем основании. Затем выполнить сушку бумаги в естественных условиях в течении суток. После высыхания, производились замеры полученных пятен и расчет коэффициентов механических примесей и моюще-диспергирующих свойств. [5,7]

В качестве основного материала для достижения поставленной цели использовалось синтетическое моторное масло Лукойл Люкс 5W-40. Для испытаний было взято 9 состояний масла: 1 новое и 8 проб отработанного на разных этапах срока его эксплуатации (от 33,6 до 705 моточасов). Сведения о соответствии порядкового номера образца масла периоду отработки в моточасах показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Сведения о взятых пробах моторного масла

Порядковый № пробы масла	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пробег, моточас	0,00	33,6	106	148	177	205	301	459	705

Дополнительно, для проведения испытаний на индекс износа на четырехшариковой машине трения ЧШМ-3,2, использовались стальные подшипниковые шарики  $\varnothing$  12,7 мм. Данные шарики подвергались входному контролю в объеме 100%. [6, 8]

### Результаты и обсуждение

В результате проведенных испытаний на машине трения ЧШМ-3,2 были получены образцы шариков с пятнами износа. Результаты вычисления средних значений пятен износа показаны в таблице 2. [9, 10]

Таблица 2 – Результаты замеров пятен износа

Порядковый № пробы масла	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пробег, моточас	0,00	33,6	106	148	177	205	301	459	705
$d_{cp}$ , мм	0,317	0,610	0,400	0,570	0,383	0,500	0,530	0,320	0,700

Данные результаты также были представлены в виде графика (Рис. 2).

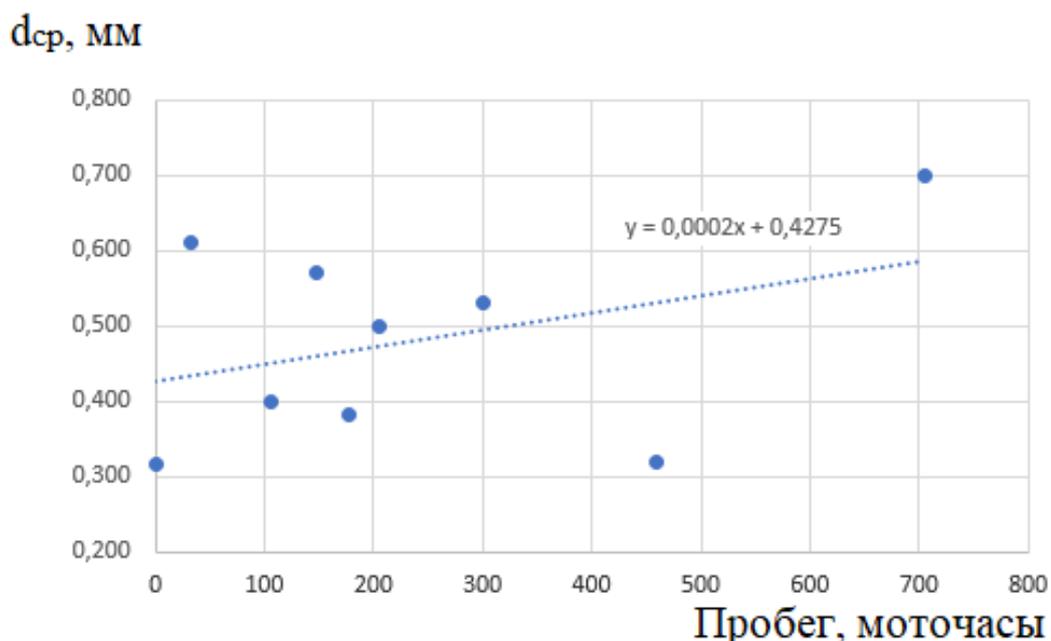


Рис. 2 – Зависимость среднего пятна износа  $d_{cp}$  от времени наработки масла

Далее вычислялась интенсивность изнашивания на основании полученных пятен износа. [9, 11]

Результаты вычисления интенсивности изнашивания представлены в виде графика (Рис. 3).

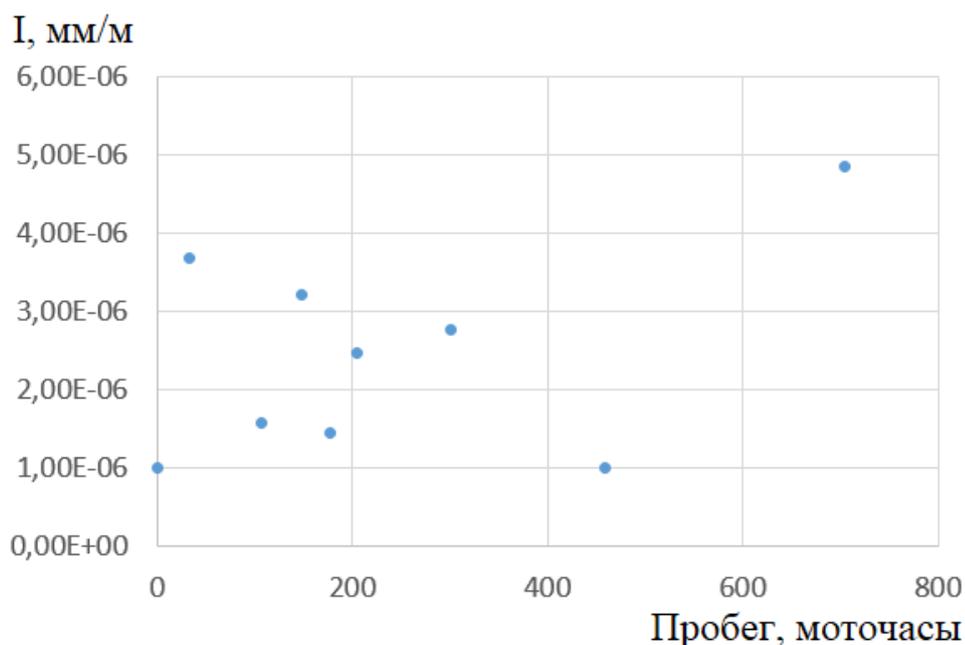


Рис. 3 – Зависимость интенсивности изнашивания I от времени наработки масла

Сравнительно большой разброс в показаниях может быть вызван погрешностью проводимых испытаний. Для более четкой картины необходимо проводить серию испытаний с вычислением средних значений для каждой пробы моторного масла, однако существует некое ограничение по объему взятия образцов на каждом этапе работы двигателя, поскольку нельзя допускать масляного голодания. Добавление же нового масла в процессе работы негативно скажется на объективности результатов проводимых исследований.

Из графика (Рис. 3) видно, что интенсивность изнашивания для первых 8-и образцов колеблется в пределах от  $1,00 \cdot 10^{-6}$  до  $4,00 \cdot 10^{-6}$  мм/м. Интенсивность изнашивания для 9-го образца составляет  $4,85 \cdot 10^{-6}$ , что значительно выше среднего показателя. Это может свидетельствовать о значительном снижении трибологических свойств масла после отработки 705 моточасов.

Сравнительно низкое значение интенсивности изнашивания шариков, испытанных в образце масла №8 может говорить о приемлемом уровне трибологических свойств моторного масла на данной стадии его наработки [14, 15]

Для сравнения были рассмотрены экспериментальные значения интенсивности изнашивания деталей ЦПГ ДВС, показанные в [12]. Так, для гильзы цилиндра и поршневого кольца значения составили  $2,1 \cdot 10^{-7}$  и  $9,6 \cdot 10^{-7}$ . Полученные в ходе испытаний на индекс износа значения выше на порядок в первом случае и в несколько раз – во втором. Тем не менее, проводить оценку допустимости полученных значений, основываясь на результатах, показанных в [12], некорректно, так как процесс трения и изнашивания происходит в совершенно разных условиях

Анализ полученных хроматограмм позволил определить коэффициент механических примесей (Кмп) и коэффициент моюще-диспергирующих свойств (Кмд) моторного масла.

В процессе анализа выделялось 3 зоны: зона диффузии, краевая зона и ядро (Рис. 2). Краевая зона определяется малорастворимыми органическими примесями. Ядро показывает тяжелые нерастворимые механические примеси.

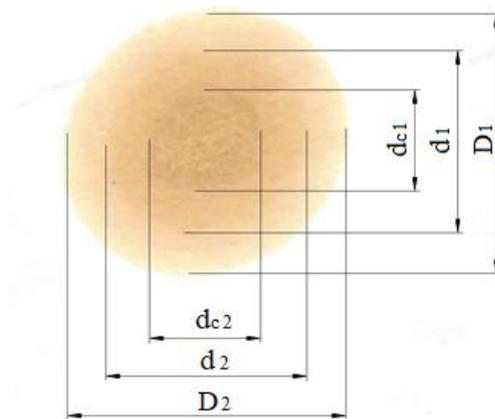


Рис. 2 – Определение зон пятна:  $d_c$  – ядро;  $d$  – краевая зона;  $D$  – зона диффузии

При первичном визуальном осмотре полученных хроматограмм было выявлено, образец № 9 имеет критическую степень старения и окисления масла, очень высокое количество механических примесей (Рис. 3).

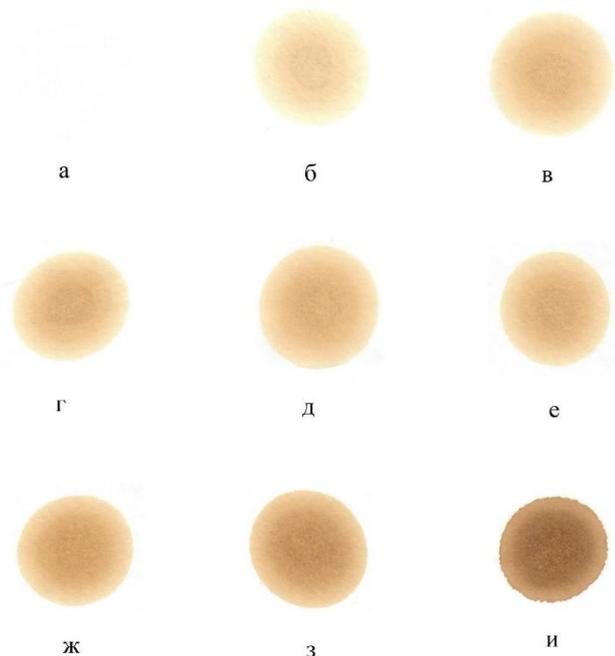


Рис. 3 – Полученные хроматограммы проб моторного масла после: а – м.ч.(чистое, из канистры); б – 33,4 м.ч.; в – 105,9 м.ч.; г – 147,8 м.ч.; д – 176,6 м.ч.; е – 204,6 м.ч.; ж – 300,8 м.ч.; з – 549,4 м.ч.; и – 705,2 м.ч.

Для данных коэффициентов были заданы критические значения:  $K_{мд} < 0,5$ ;  $K_{мп} > 0,44$ . При более низком показателе коэффициента моюще-диспергирующих свойств могут образовываться лаковые отложения, а при увеличенном значении коэффициента механических примесей будет увеличиваться интенсивность изнашивания трущихся поверхностей. Оба эти показателя напрямую влияют на трибологические характеристики масел. [5, 13, 14, 15]

Полученные значения коэффициентов моюще-диспергирующих свойств масла ( $K_{мд}$ ) и механических примесей ( $K_{мп}$ ) представлены в виде графиков зависимости значения коэффициента от времени наработки моторного масла в моточасах на Рис. 4 и Рис. 5 соответственно. Значения коэффициентов при нулевом пробеге было назначено 1 и 0 соответственно

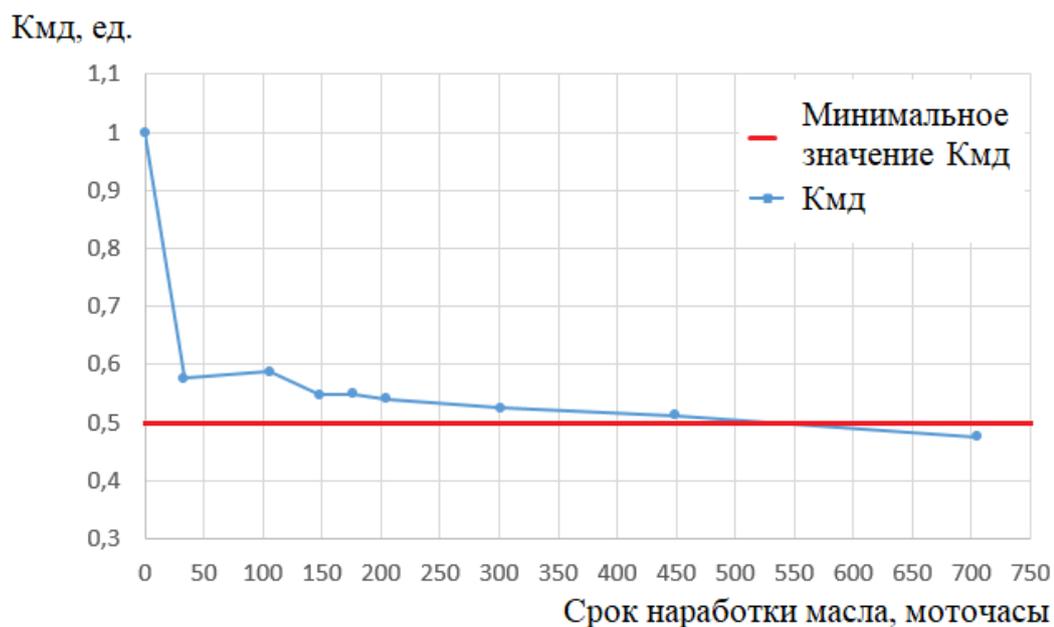


Рис. 4 – График зависимости Кмд от срока наработки масла

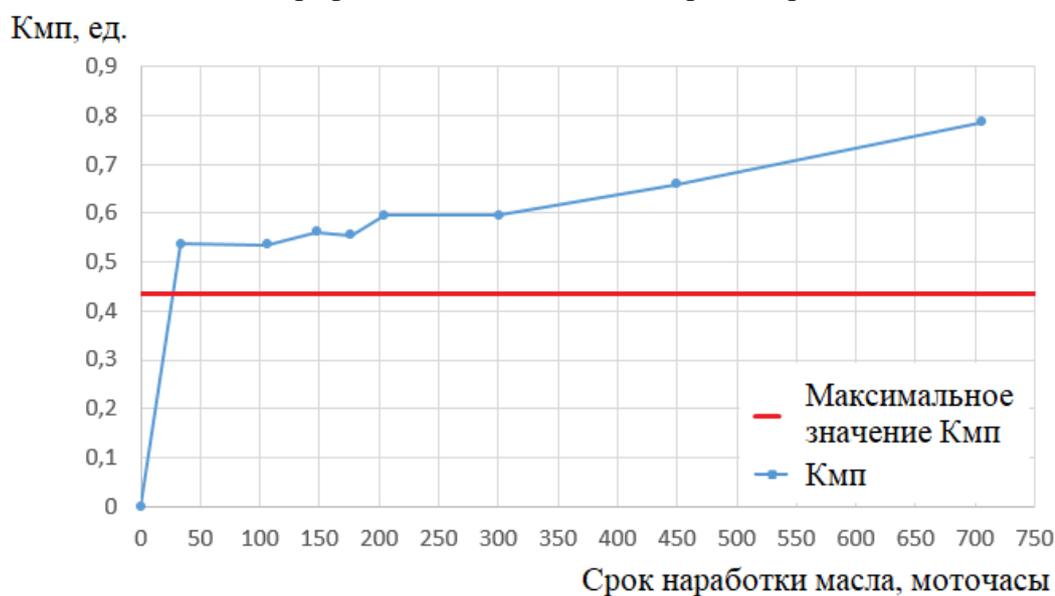


Рис. 5 – График зависимости Кмп от срока наработки масла

Из графика зависимости коэффициента моюще-диспергирующих свойств масла (Кмд) от срока наработки масла видно, что минимально допустимое значение наступило на интервале от 459 и 705 мото­часов.

Из графика зависимости коэффициента механических примесей (Кмп) от срока эксплуатации масла видно, что предельное допустимое значение коэффициента наступило еще до снятия самой первой пробы. Это может свидетельствовать как о критическом состоянии двигателя, так и о наличии остаточных продуктов износа в системе после удаления предыдущего масла из автомобиля.

Если же говорить о приращении коэффициента механических примесей за весь срок эксплуатации, то динамика наблюдается достаточно стабильная, а невысокая скорость роста данного коэффициента может говорить о нормальной интенсивности изнашивания цилиндропоршневой группы даже в конце срока эксплуатации данной загрузки моторного масла.

## **Обсуждение**

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

Сравнительные испытания на индекс износа образцов масла, полученных на протяжении всей эксплуатации данной загрузки масла, показали, что максимальное значение интенсивности изнашивания образцов в машине трения ЧШМ-3.2 наблюдалось в среде масла с пробегом 705 моточасов (35 423 км. пробега).

Исследования методом бумажной хроматографии показали, что коэффициент мующе-диспергирующих для пробы 705 моточасов составил 0,47 единиц, что ниже нормы. Коэффициент механических примесей был выше нормы для 33 моточасов, то есть в самом начале эксплуатации данной заправки масла. Однако приращение этого коэффициента достаточно низкое и стабильное, что говорит об отсутствии критического изнашивания.

Если учесть тот факт, что автомобиль эксплуатировался в условиях шоссейной езды, можно установить рекомендуемый срок эксплуатации данного моторного масла: не более 500 моточасов – это порядка 25 000 км пробега, что на 66% превышает заявленный производителем ресурс. Однако, данная тема требует дополнительных серий испытаний на индекс износа, так как наблюдается значительный разброс результатов проведенных испытаний, которые препятствует составлению объективной оценки изменения свойств масла в процессе срока его службы.

В качестве рекомендации можно отметить необходимость в промывке двигателя специальными составами перед загрузкой нового масла с целью продления срока его службы.

## **Заключение**

В ходе работы был выполнен анализ моторного масла на разных стадиях срока его наработки в двигателе внутреннего сгорания. Результаты анализа позволили предложить рекомендуемый срок эксплуатации данного моторного масла, а также предоставить практические рекомендации по его использованию. Однако, для более точных результатов необходимо провести дополнительные серии испытания на индекс износа.

## **Благодарности**

«Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00178, <https://rscf.ru/project/22-19-00178/>»

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для студентов вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / В.П. Алексеев, В.Ф. Воронин, Л.В. Грехов и др.; Под общ. Ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.:Машиностроение, 1990.-288 с.: ил.
2. Моторные масла и смазка двигателей: Учебное пособие / С.В. Беляев; Петрозаводск. гос. ун-т. Петрозаводск, 1993. 70 с.
3. Бирюков В.П. Смазочные материалы, топлива и технические жидкости. Учебное пособие. – М.: МИИТ. 2008. – 183 с.: ил.
4. R.K. Upadhyay. Microscopic technique to determine various wear modes of used engine oil // Journal of Microscopy and Ultrastructure. - 2013. 111-114.
5. ГОСТ 28365-89. Реактивы. Метод бумажной хроматографии. 1991, 7 с.

6. ГОСТ 9490-75. Материалы смазочные и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине трения. 1978. 8 с.
7. Syundyukov I.S., Ivanov E.K., Skotnikova M.A., QIAN JIANGDA, Medvedeva V.A., Krylov N.A. Tribotechnical Diagnostics of an Internal Combustion Engine According to the Condition of the Oil. Key Engineering Materials (ISSN: 1662-9795, Vol. 822, pp. 649-655) 2019, Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.
8. ГОСТ 3722-2014. Подшипники качения. Шарикоподшипники стальные. Технические условия. 2015. 16 с.
9. Ефремов Л.В., Тикалов А.В. Алгоритмы оценки линейной и объемной (весовой) интенсивности изнашивания материалов на машине трения // Изв. Вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 4. С. 293-301.
10. Исследование модернизированных конструкционных смазочных материалов, содержащих мелкодисперсные частицы модификаторов трения / А.Д. Бреки, С.Г. Чулкин, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, М.Ю. Максимов; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер.: Машиностроение – 2010. – 2-2(100). –С. 92–97.
11. ГОСТ 51860-2002. Обеспечение износостойкости изделий. Оценка противоизносных свойств смазочных материалов методом «Шар-цилиндр». 2002. 10 с.
12. Загайко С.А. Математическое моделирование изнашивания деталей ЦПГ ДВС. Вестник УГАТУ. 2013. Т.17, №3, (56). С. 231-238.
13. Nurul Waheeda binti Abdu Rahman, Mohd Aizudin bin Abd Aziz. The effects of additives on anti-wear properties of lubricating grease formulated from waste engine oil // Egyptian Journal of Petroleum. – 2022. 71-76
14. Alexander Dudas, Gábor Laki, Andras Lajos Nagy, Ibolya Zsoldos, Barna Hanula, Dirk Bartel. Wear behaviour of ceramic particle reinforced atmospheric plasma spray coatings on the cylinder running surface of internal combustion engines // Wear. – 2022. 502-503.
15. Чечулин К.Н., Бреки А.Д., Молоков И.Е., Гвоздев А.Е., Кутепов С.Н., Пантюхин О.В. Влияние изменения свойств моторного масла М10Г2К в двигателе внутреннего сгорания ямз-236 автомобиля Урал-4320 на циклы его поставки в границах технического обеспечения // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. №8.

D.I. Danilogorskiy<sup>1</sup>, Zhang Bufan<sup>2</sup>, A.D. Breki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
Saint Petersburg, Russia, danilogorik@mail.ru

<sup>2</sup>Changchun University, Changchun, 6543, Satellite Road, China

## ANALYSIS OF THE AGING PROCESS OF MOTOR OIL IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

### Abstract

The paper examines the aging process of Lukoil Lux 5W40 oil in an internal combustion engine of a car. 9 oil samples were taken: 1 new and 8 used at different stages of its service life. These samples were subjected to paper chromatography and wear index testing on a ChShM-3.2 friction machine. As a result of the work done, recommendations were given for the use of this motor oil, which can extend the service life of the internal combustion engine.

*Keywords:* Friction, wear, motor oil, internal combustion engine, friction machine.