

ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК: 621.6.03

DOI: 10.18324/2077-5415-2025-3-7-13

Влияния условий окисления моторного масла на его вязкостные характеристики

Н.А. Дистергофт^{1а}, С.В. Корнеев^{1b, 2b}, С.К. Каргапольцев^{3с}

¹ Омский государственный технический университет, пр. Мира, 11, г. Омск, Россия

² Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, пр. Мира, 5, г. Омск, Россия

³ Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск, Россия

^а nikita.distergoft.01@mail.ru, ^б svkorneev51@mail.ru, ^с kck6262@mail.ru

^а <https://orcid.org/0009-0001-4097-3195>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-7243-1841>,

^с <https://orcid.org/0000-0002-4601-3099>

Статья поступила 10.07.2025, принята 10.09.2025

Предметом исследования статьи является моторное масло, используемое в дизельном двигателе внутреннего сгорания. При эксплуатации двигателя внутреннего сгорания, дизельное топливо попадает в смазочную систему, что приводит к снижению значений эксплуатационных характеристик моторного масла. Превышение предельного содержания топлива приводит к преждевременной выработке присадок моторного масла вплоть до их разрушения, что приводит к выходу из строя двигателя автомобиля. Целью статьи является определение степени влияния загрязнителя и времени окисления на изменение вязкостных характеристик моторного масла. Для сравнения влияния условий окисления используются кинематическая вязкость, индекс вязкости. Для окисления использовался аппарат для определения стабильности масел против окисления «АПСМ-1». Минимальным временем окисления является отметка в 3 часа. Дополнительное время окисления составило 4, 5, 6 часов. Концентрация топлива в образцах моторного масла составила 3 % масс., 5 % масс., 7 % масс. Для анализа характеристик использовался вискозиметр Штабингера. Сравнительный анализ показал, что загрязнитель в большей степени влияет на эксплуатационные характеристики моторного масла. При наличии загрязнителя показатели эксплуатационных характеристик изменяются в негативную сторону. Разница значений кинематической вязкости при 40 °С между образцами составила 1,06 %. Разница значений кинематической вязкости при 100 °С между образцами составила 16,1 %. Разница значений индекса вязкости составила 56 %. При увеличении времени окисления кинематическая вязкость образцов при 40 °С увеличивается на 0,04 %, а кинематическая вязкость при 100 °С увеличивается на 0,05 %. Повышение кинематической вязкости, а следовательно, индекса вязкости связано с образованием продуктов окисления и продуктов распада присадок. Результаты исследования могут быть использованы при разработке методов увеличения долговечности дизельного двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: двигатель; система смазки; моторное масло; топливо; окисление; кинематическая вязкость; индекс вязкости.

Comparison of the influence of engine oil oxidation conditions on performance characteristics

N.A. Distergoft^{1а}, S.V. Korneev^{1b, 2b}, S.K. Kargapoltsev^{3с}

¹ Omsk State Technical University; 11, Mira Pros., Omsk, Russia

² Siberian State Automobile and Highway University; 5, Mira Pros., Omsk, Russia

³ Irkutsk National Research Technical University; 83, Lermontov St., Irkutsk, Russia

^а nikita.distergoft.01@mail.ru, ^б svkorneev51@mail.ru, ^с kck6262@mail.ru

^а <https://orcid.org/0009-0001-4097-3195>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-7243-1841>,

^с <https://orcid.org/0000-0002-4601-3099>

Received 10.07.2025, accepted 10.09.2025

The article studies the motor oil used in the diesel internal combustion engine. During the operation of the internal combustion engine, diesel fuel enters the lubrication system, which leads to a decrease in the performance characteristics of the motor oil. Exceeding the maximum fuel content leads to premature depletion of motor oil additives, up to their destruction, which causes a failure of the car engine. The purpose of the article is to determine the degree of influence of the pollutant and oxidation time on the change in the viscosity characteristics of motor oil. Kinematic viscosity and viscosity index are used to compare the influence of oxidation conditions. The apparatus for determining the stability of oils against oxidation "APSM-1" is used for oxidation. The minimum oxidation time is 3 hours. Additional oxidation time is 4, 5, 6 hours. The concentration of fuel in the motor oil samples is 3 % by weight, 5 % by weight, 7 % by weight. A Stabinger viscometer is used to analyze the characteristics. Comparative analysis shows that the pollutant has a greater effect on the performance characteristics of the motor oil. In the presence of a pollutant, the performance indicators change negatively. The difference in kinematic viscosity values at 40 °C between the samples is 1.06 %. The difference in kinematic viscosity values at 100 °C between the samples is 16,1 %. The difference in viscosity index values is 56%. With an increase in oxidation time, the kinematic viscosity of the samples at 40 °C increases by 0,04 %, and the kinematic viscosity at 100 °C increases by 0,05 %. The increase in kine-

matic viscosity, and therefore the viscosity index, is associated with the formation of oxidation products and additive decomposition products. The results of the study can be used in developing methods for increasing the durability of a diesel internal combustion engine.

Keywords: engine; lubrication system; motor oil; fuel; oxidation; kinematic viscosity; viscosity index.

Введение. Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) выступают основными потребителями смазочных материалов, среди которых моторные масла играют ключевую роль. Среди различных типов доступных смазочных материалов автомобильное смазочное масло составляет 57 % от общего мирового спроса на смазочные материалы [1]. Их использование в транспортных средствах с дизельными двигателями обеспечивает бесперебойную работу узлов, повышает надежность и продлевает срок службы двигателя [2, 3]. Специфика конструкции дизельных ДВС способствует проникновению топлива в смазочную систему во время холодного пуска в зимнее время года, что может изменять свойства масла и требует детального изучения [4]. Помимо факта попадания топлива в моторное масло, играет роль также наличие отложений в топливе, так как отложения оказываются вместе с топливом в масле, влияя на эксплуатационные характеристики последнего [5].

Базовые масла делятся на три типа: минеральные, полусинтетические и синтетические. Минеральные масла производятся из нефти путём сложной переработки, включающей очистку от примесей и добавление присадок для улучшения характеристик. Такие масла отличаются доступной стоимостью, но имеют ограниченный срок службы и меньшую устойчивость к высоким температурам по сравнению с синтетическими. Они оптимальны для старых моделей автомобилей или эксплуатации в умеренных условиях.

Полусинтетические масла представляют собой сочетание минеральной основы и синтетических компонентов, что позволяет объединить их преимущества. Эти масла дешевле полностью синтетических, но превосходят минеральные по долговечности и защитным свойствам. Они универсальны и подходят для большинства автомобилей в различных условиях эксплуатации.

Синтетические масла создаются на основе химически синтезированных соединений. Их преимущества включают широкий диапазон рабочих температур, высокую текучесть при низких температурах, устойчивость к окислению и термическому разложению, а также увеличенный интервал замены. Такие масла идеальны для интенсивной эксплуатации [6].

По температурным характеристикам масла подразделяются на зимние, летние и всесезонные. В зависимости от назначения выделяют следующие категории моторных масел:

- для дизельных двигателей (автомобильных, тепловозных, судовых, стационарных);
- для бензиновых двигателей;
- универсальные масла;
- для двигателей на природном или сжиженном газе;
- для двухтактных бензиновых двигателей [7].

Классификация масел также осуществляется по международным и национальным стандартам, включая ГОСТ 17479.1, SAE, API, ILSAC и ACEA. Основные критерии классификации:

- 1) вязкость;
- 2) область применения и эксплуатационные качества;

3) наличие или отсутствие энергосберегающих свойств.

Важно подчеркнуть, что данные классификации не отражают качество масла напрямую. Качество определяется соответствием масла требованиям, таким как:

- стабильные вязкостные свойства для эффективной работы двигателя в разных режимах;
- способность снижать износ трущихся деталей;
- химическая устойчивость, сохраняющая свойства масла при длительной эксплуатации;
- моюще-диспергирующие характеристики для чистоты двигателя;
- минимальный расход на угар и низкая летучесть;
- термическая и антиокислительная стабильность;
- защита от коррозии и устойчивость к эмульсиям.

Вязкость считается определяющим параметром моторного масла, который меняется в процессе эксплуатации [8]. Она влияет на подачу масла к узлам трения, формирование прочной масляной плёнки, лёгкость запуска двигателя в холодных условиях, расход топлива и степень износа [9]. Кинематическая вязкость – важный эксплуатационный показатель, характеризующий внутреннее трение масла и его текучесть при температурах 40 °C и 100 °C [10]. Для дизельных двигателей минимальная кинематическая вязкость при 40 °C должна составлять не менее 160 мм²/с, чтобы обеспечить высокую производительность [11].

Для измерения кинематической вязкости применяется вискозиметр Штабингера, включающий ячейки для измерения вязкости и плотности, электронный термостат, блок обработки данных, дисплей и элементы управления. Принцип работы основан на измерении скорости вращения внутреннего ротора в цилиндре с испытуемым маслом [12]. Температура поддерживается с высокой точностью, а результаты выводятся в единицах вязкости.

Вискозиметр также измеряет плотность жидкости с помощью U-образной трубки, колебания которой зависят от плотности образца. Одновременное измерение вязкости и плотности позволяет пересчитывать динамическую вязкость в кинематическую [13, 14].

Индекс вязкости отражает зависимость вязкостных свойств масла от температуры [15]. Он варьируется в зависимости от состава базового масла: парафиновые масла имеют высокий индекс (около 100), нафтеновые – средний (30–60), а ароматические могут иметь отрицательное значение. Очистка масел повышает индекс вязкости за счёт удаления ароматических соединений.

Для изучения изменений свойств моторных масел при загрязнении топливом использовался метод высокотемпературного окисления. Образцы свежего масла с добавлением дизельного топлива в разных концентрациях подвергались окислению, имитирующему условия работы масла в двигателе [16]. Процесс проводился при температуре 200 °C с подачей кислорода (20 мл/мин) в присутствии катализаторов (меди и железа) в течение 3 часов. Температура выбрана с учётом высоких тепловых нагрузок в двигателях, где отдельные узлы могут нагреваться до 400 °C [17]. Технические характеристики вискозиметра Штабингера представлены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики вискозиметра Штабингера

1. Диапазон измерений: - динамической вязкости, мПа·с; - кинематической вязкости, мм ² /с; - плотности, кг/м ³ ; - температуры, °С.	от 0,2 до 20 000 от 0,2 до 20 000 от 650 до 2000 от -40 до +100
2. Пределы допускаемой относительной погрешности измерения вязкости, %: - в диапазоне от 0,2 до 3 мПа·с; - в диапазоне от 3 до 10 000 мПа·с; - в диапазоне свыше 10 000 мПа·с.	±0,5 ±0,5 ±1,0
3. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения: - плотности, кг/м ³ ; - температуры, °С.	± 0,5 ±0,02
4. Условия эксплуатации: - диапазон температуры окружающего воздуха, °С; - диапазон относительной влажности, %	от 5 до 35 от 10 до 90
5. Диапазон рабочих температур, °С	от 0 до 100
6. Объем образца (для измерения плотности и вязкости), мл, не менее	3,0
7. Производительность: - без промывки при постоянной температуре, образцов/час; - с промывкой и высушиванием, образцов в час; - при измерении индекса вязкости, образцов в час.	до 20 до 12 до 2
8. Габаритные размеры, мм	440×315×220
9. Масса, кг, не более	17
10. Потребляемая мощность, Вт, не более	50
11. Напряжение питающей сети, В	220±10%

Аппарат для определения стабильности масел против окисления АПСМ-1М (см. рис. 1), включает в себя: 1 – термостатирующую баню, 2 – блок управления, 3 – ротаметры, 4 – моностаг, 5 – систему подачи кислорода. Термостатирующая баня обеспечивает стабильную температуру, блок управления регулирует нагрев и мешалку, а ротаметры контролируют расход газа.

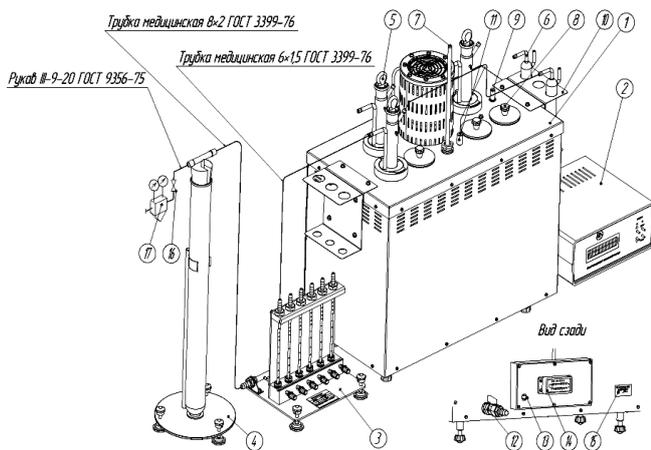
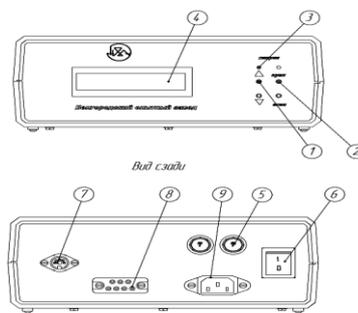


Рис. 1. Аппарат для определения стабильности масел против окисления. Конфигурация системы: 1 – термостатирующая баня; 2 – блок управления; 3 – блок ротаметров; 4 – моностаг; 5 – прибор ВТИ (вакуумметр точных измерений); 6 – приёмная ловушка; 7 – контрольный термометр; 8 – заглушка; 9 – шуп; 10 – штатив; 11 – электронный датчик температуры; 12 – кран; 13 – терморегулятор; 14 – розетка РШАГКУ-14-1; 15 – заводская табличка; 16 – вентиль; 17 – редуктор БКД-25

Термостатирующая баня представляет собой ёмкость с двойным корпусом, между слоями которого размещён теплоизоляционный материал, а внешний декоративный кожух придаёт конструкции эстетичный вид. Сверху ёмкость закрывается крышкой, на которой установлена электромешалка с системой охлаждения, автоматически активирующаяся при достижении термостатирующей жидкостью температуры 48 °С. В крышке предусмотрены отверстия для установки приборов ВТИ (5), контрольного термометра (7), электронного датчика температуры (11) и шупа для контроля уровня жидкости (9). По бокам крышки на петлях закреплены штативы (10) для размещения приёмных ловушек (6). В нижней части корпуса расположен трубчатый электронагреватель. На задней стороне бани находятся элементы коммутации, включая розетку (14) для подключения блока управления (13), терморегулятор для аварийного отключения нагревателя при превышении температуры и кран для слива жидкости. Блок управления выполнен в виде компактного электронного устройства (см. рис. 2). Блок управления оснащён кнопками для задания температуры, кнопками «Пуск» и «Стоп», светодиодными индикаторами, дисплеем, гнездами для предохранителей, переключателем питания, а также розетками для подключения электронного термометра, жгута термостата и кабеля питания. Устройство поддерживает заданную температуру жидкости с помощью внешнего датчика, установленного в крышке бани. Температура задается кнопками на передней панели, а её контроль осуществляется через термометр. Блок также управляет электроприводом мешалки, обеспечивая равномерное распределение тепла.



а)



б)

Рис. 2. Блок управления: а) общий вид; б) схема: 1 – кнопки установки температуры; 2 – кнопки «Пуск» и «Стоп»; 3 – светодиоды; 4 – дисплей; 5 – гнезда предохранителей; 6 – переключатель для включения блока управления; 7 – розетка для подключения электронного термометра; 8 – розетка для подключения жгута термостата; 9 – разъем для подключения кабеля питающей сети

В приборы ВТИ (см. рис. 3) помещаются образцы масел для проведения испытания.

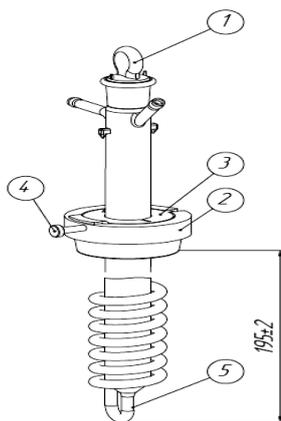


Рис. 3. Прибор ВТИ с держателем: а) прибор ВТИ, подготовленный для испытания; б) схема: 1 – пробка; 2 – держатель; 3 – амортизатор; 4 – винт; 5 – прибор

Технические характеристики аппарата для определения стабильности масел против окисления представлены в табл. 2.

Таблица 2. Технические характеристики аппарата для определения стабильности масел против окисления

Рабочая среда	Нефтяные масла с присадками и без присадок
Мощность электронагревательного элемента, кВт	2
Мощность электродвигателя, Вт	7
Объём ёмкости термостатирующей бани, дм ³	22
Параметры питания: - напряжение, В; - частота переменного тока, Гц; - потребляемая мощность, кВт, не более	220 50±1 2,02
Условия испытаний: - диапазон температур термостатирования приборов ВТИ, °С; - погрешность измерения дозированной подачи окисляющего реагента, %; - погрешность температуры термостатирования, °С, не более	плюс 50 – плюс 250 10 0,5
Термостатирующая жидкость	Жидкости с температурой вспышки не менее +260 °С
Время выхода на режим термостатирования 250 °С, часов, не более	2,5
Габаритные размеры функциональных блоков: - термостатирующая баня, мм; - блок управления, мм; - блок ротаметров, мм	490×262×506 95×235×218 160×200×239
Масса основных функциональных блоков, не более: - термостатирующая баня, кг; - блок управления, кг; - блок ротаметров, кг.	25 2,5 3,3

Цель исследования. Определить степень влияния загрязнителя и времени окисления на изменение вязкостных характеристик моторного масла.

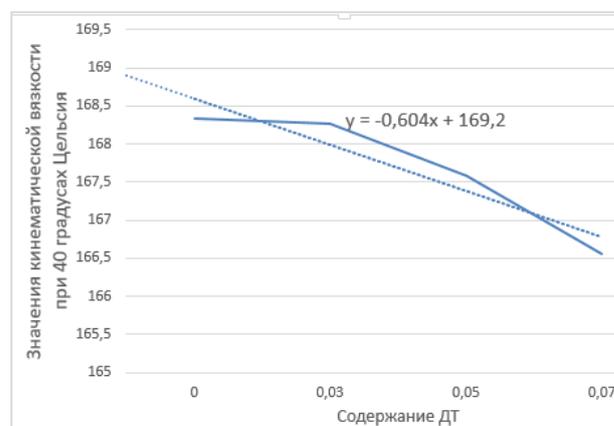
Материалы и методика. Использовано масло "Ремко Diesel G-4" (SAE 15W-40, API CH-4). Дизельное топливо добавлялось в моторное масло в концентрациях 3 %, 5 % и 7 % по объёму [18].

Результаты. После окисления получено 7 образцов, все приобрели тёмный оттенок. Значения кинематической вязкости при 40 °С и 100 °С представлены в табл. 3.

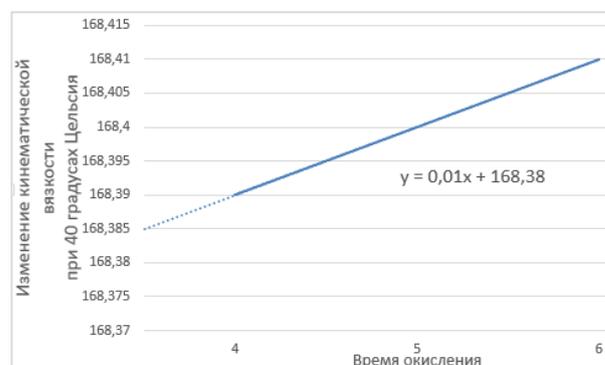
Таблица 3. Значения кинематической вязкости образцов при 40 °С и 100 °С

Образец	Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с
0 % ДТ (3 часа окисления)	168,34	14,097
3 % ДТ (3 часа окисления)	168,26	13,126
5 % ДТ (3 часа окисления)	167,59	12,428
7 % ДТ (3 часа окисления)	166,55	11,826
0 % ДТ (4 часа окисления)	168,34	13,865
0 % ДТ (5 часов окисления)	168,40	13,929
0 % ДТ (6 часов окисления)	168,41	13,935

Графики изменения вязкости при 40 °С и 100 °С приведены на рис. 4 и 5.

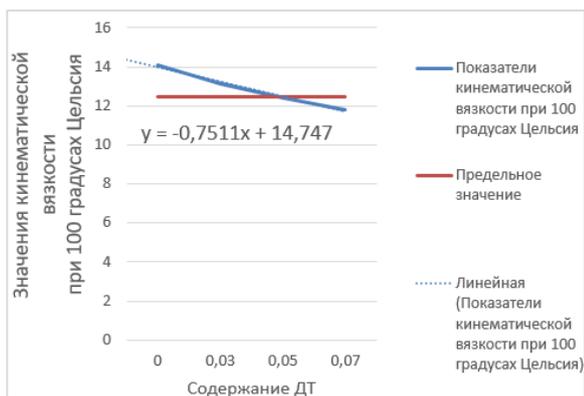


а)

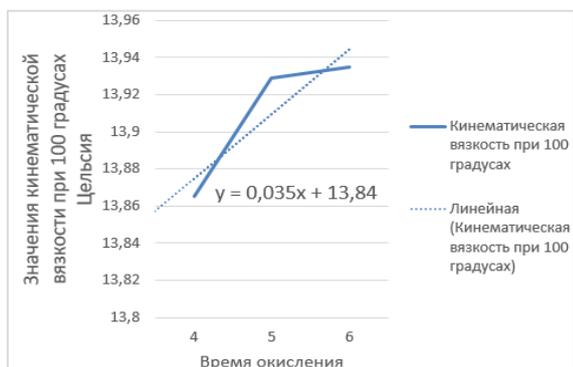


б)

Рис. 4. Графики изменения кинематической вязкости образцов при 40 °С: а) образцы, содержащие дизельное топливо; б) образцы, окисляемые в течение 4–6 часов



а)



б)

Рис. 5. Графики изменения кинематической вязкости образцов при 100 °С: а) образцы, содержащие дизельное топливо; б) образцы, окисляемые в течение 4–6 часов

Уравнения аппроксимации графиков изменения кинематической вязкости:

- при 40 °С (с ДТ): $y = -0,604x + 169,2$
- при 40 °С (по времени): $y = 0,01x + 168,38$
- при 100 °С (с ДТ): $y = -0,7511x + 14,747$
- при 100 °С (по времени): $y = 0,035x + 13,84$

На основе полученных данных рассчитан индекс вязкости. Результаты отображены в табл. 4. Графики изменения индекса вязкости отображены на рис. 6.

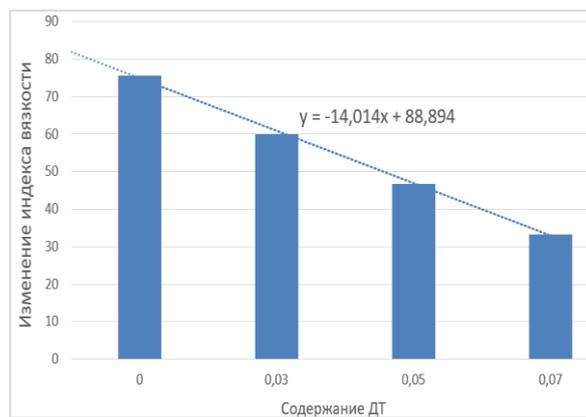
Таблица 4. Значения индекса вязкости образцов

Образец	Индекс вязкости
0 % ДТ (3 часа окисления)	75,567
3 % ДТ (3 часа окисления)	59,894
5 % ДТ (3 часа окисления)	46,736
7 % ДТ (3 часа окисления)	33,239
0 % ДТ (4 часа окисления)	72,088
0 % ДТ (5 часов окисления)	73,048
0 % ДТ (6 часов окисления)	73,13

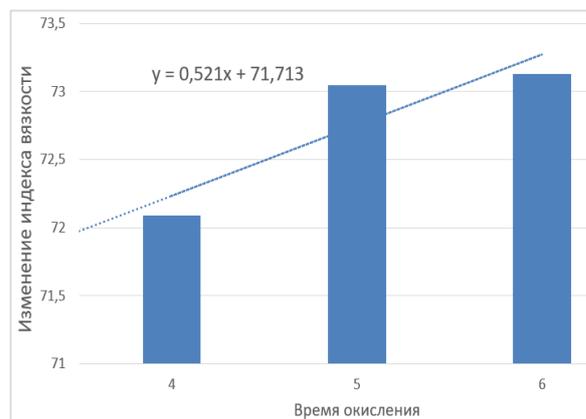
Уравнения аппроксимации графиков изменения индекса вязкости:

- для образцов с ДТ: $y = -14,014x + 88,895$;
- для образцов, окисляемых в течение 4, 5, 6 часов: $y = 0,521x + 71,713$

Уравнения аппроксимации позволяют оценить качество моторного масла с определённым уровнем загрязнения во избежание использования неподходящего смазывающего компонента, так как это может привести к неисправностям узлов.



а)



б)

Рис. 6. Графики изменения индекса вязкости образцов: а) образцы, содержащие дизельное топливо; б) образцы, окисляемые в течение 4–6 часов

Выводы. Загрязнение топливом ухудшает свойства масла, снижая кинематическую вязкость при 40 °С на 1,06 %, кинематическую вязкость при 100 °С на 16,1 % и индекс вязкости на 56 %. Снижение вязкости моторного масла способствует ухудшению смазывающих свойств.

Разбавление моторного масла топливом увеличивает общий объём смазочного материала, на который не рассчитаны присадки, что приводит к снижению их концентрации и снижению их эффективности и даже к разрушению. Разрушение присадок приводит к засорению смазочной системы, а следовательно, может привести к граничному трению металлических узлов, что приведёт к задирам [19].

Увеличение времени окисления без топлива незначительно повышает индекс вязкости на 1,5 %, улучшая устойчивость масла к повышенным температурам. При этом кинематическая вязкость при 40 °С повышается на 0,04 %, а кинематическая вязкость при 100 °С повышается на 0,5 %. Повышение вязкости связано с окислительными процессами при продолжительном времени воздействия кислорода на моторное масло [20].

Уравнения аппроксимации позволяют прогнозировать поведение масла при изменении условий во избежание поломок.

Топливо оказывает более сильное влияние на вязкостные характеристики, чем время окисления.

Литература

- Pyrolysis of waste lubricating oil/waste motor oil to generate high-grade fuel oil: A comprehensive review / Mishra Asmita, Hammad Siddiqi, Usha Kumari [и др.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2021. – № 150. – С. 111. – ISSN 1364-0321
- Пивоварчик А.А. Исследование температурно-вязкостных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств / А.А. Пивоварчик, А.И. Сергей // *Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника*. – 2019. – Т. 9, № 1. – С. 78–86. – EDN YZENDV.
- Sejkorová M.; Hurtová I.; Jilek P.; Novák, M.; Voltr, O. Study of the Effect of Physicochemical Degradation and Contamination of Motor Oils on Their Lubricity. *Coatings* 2021, 11, 60.
- Загрязнение моторных масел при зимней эксплуатации автомобилей / С.В. Корнеев, В.Д. Бакулина, С.В. Пашукевич, Н.Г. Певнев // *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. – 2022. – Т. 19, № 5. – С. 680–691. – ISSN 2071-7296
- Термоокислительная стабильность дизельного смесового топлива / Д.А. Уханов, А.Д. Черепанова, А.П. Уханов, А.А. Хохлов // *Нива Поволжья*. – 2022. – № 1(61). – С. 3003. – DOI 10.36461/NP.2022.61.1.006. – EDN TNXIYM.
- Дистергофт Н.А. Изменение характеристик моторных масел при наличии загрязнителей / Н.А. Дистергофт, В.Д. Бакулина, С.В. Корнеев // *Динамика систем, механизмов и машин*. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 74–78. – ISSN 2310-9793
- Горючие смазочные материалы: Энциклопедический толковый словарь-справочник. Изд. 2-е. Под ред. В.М. Школьникова. – М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» Международной академии Информатизации», 2010. – 756 с.:ил.
- Wolak, A.; Zajac, G. The Kinetics of Changes in Kinematic Viscosity of Engine Oils under Similar Operating Conditions. *Ekspluat. Niezawodn.—Maint. Reliab.* – 2017, 19, 260–267.
- Геленов А.А., Автомобильные эксплуатационные материалы: учеб. пособие / А.А. Геленов, Т.И. Соченко, В.Г. Спиркин. – 4-е изд., стереотип. – М.: Академия, 2015. – С.115–116.
- Бреkn А.Д. Триботехнические свойства модифицированных смазочных масел: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2011. – 20 с.
- Трембач Е.В. Моторные и трансмиссионные масла, присадки / Е.В. Трембач. – Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – С. 81–97.
- Zhu X.; Zhong, C.; Zhe, J. Lubricating Oil Conditioning Sensors for Online Machine Health Monitoring. – A Review. – *Tribol. Int.* 2017, 109. – 473–484.
- Попова Е.А., Рубинштейн И.А., Крейн С.Э. Окисляемость и антиокислительное действие углеводородов смазочных масел // *Химия и технология топлив и масел*. – 1968. – № 12. – С. 43–47.
- Sariyerli G.S.; Sakarya, O.; Akcadag, U.Y. Comparison Tests for the Determination of the Viscosity Values of Reference Liquids by Capillary Viscometers and Stabinger Viscometer SVM 3001. *Int. J. Metrol. Qual. Eng.* – 2018, 9.
- Исследование остаточных свойств обработанного моторного масла автомобиля / Н. С. Каминский, П. Р. Гостэва, О. Г. Михайлова, С. М. Угай // *International Journal of Advanced Studies*. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 115–129. – DOI 10.12731/2227-930X-2023-13-3-115-129. – EDN OOPFUE.
- Rahimi, Mohammad Modeling and classifying the in-operando effects of wear and metal contaminations of lubricating oil on diesel engine: A machine learning approach / Mohammad Rahimi, Mohammad-Reza Pourramezan, Abbas Rohani // *Expert Systems with Applications*. – 2022. – № 203. – С. 1–10. – ISSN 0957-4174
- Study on the influence of key structural parameters of turbine heat shields on the thermal load of bearing shell / Chao Ma, Guangqian Zhu, Zhanhao Chen, Shanshan Guo // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2025. – № 70. – С. 1–18. – ISSN 2214-157X
- Изменение температуры застывания моторного масла при попадании топлива / Н.А. Дистергофт, В.Д. Бакулина, С.В. Корнеев, Н.Ю. Мачехин // *Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: мат-лы 14-й Междунар. науч.-техн. конф., Омск, 12–15 марта 2024 года*. – Омск: Омский государственный технический университет, 2024. – С. 16. – EDN SOQDWC.
- Влияние высоких температур на изменение эксплуатационных характеристик моторных масел при попадании топлива / С.В. Корнеев, В.Д. Бакулина, Я.В. Ярмович, С.В. Пашукевич, В.Б. Пермьяков // *Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: мат-лы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. (Россия, Омск, 26–29 февраля 2020 года) / М-во образования Ом. обл. [и др.] ; редкол.: В.А. Лихолобов [и др.]*. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2020. – С. 11–12. – ISBN 978-5-8149-2977-8.
- Napiórkowski J.; Gonera J. Analysis of Failures and Reliability Model of Farm Tractors. *Agric. Eng.* – 2020. – P. 89–101.

References

- Pyrolysis of waste lubricating oil/waste motor oil to generate high-grade fuel oil: A comprehensive review / Mishra Asmita, Hammad Siddiqi, Usha Kumari [and others] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2021. – № 150. – P. 111. – ISSN 1364-0321
- Pivovarchik, A. A. Study of temperature-viscosity parameters of semi-synthetic motor oils used in diesel engines of motor vehicles / A. A. Pivovarchik, A. I. Sergey // *Bulletin of the Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Technology*. – 2019. – Vol. 9, № 1. – P. 78–86. – EDN YZENDV.
- Sejkorová, M.; Hurtová, I.; Jilek, P.; Novák, M.; Voltr, O. Study of the Effect of Physicochemical Degradation and Contamination of Motor Oils on Their Lubricity. *Coatings* 2021, 11, 60.
- Contamination of motor oils during winter operation of cars / S.V. Korneev, V.D. Bakulina, S.V. Pashukevich, N.G. Pevnev, // *Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University*. – 2022. – Vol.19, № 5. – P. 680–691. – ISSN 2071-7296
- Thermal-oxidative stability of diesel mixed fuel / D.A. Ukhonov, A.D. Cherepanova, A.P. Ukhonov, A.A. Khokhlov // *Niva Povolzhya*. – 2022. – № 1 (61). – P. 3003. – DOI 10.36461 / NP.2022.61.1.006. – EDN TNXIYM.
- Distergoft, N.A. Changes in the characteristics of motor oils in the presence of pollutants / N.A. Distergoft, V.D. Bakulina, S.V. Korneev // *Dynamics of systems, mechanisms and machines*. – 2024. – V. 12, № 2. – P. 74–78. – ISSN 2310-9793
- Combustible lubricants: Encyclopedic explanatory dictionary-reference book. 2nd edition. Under the editorship of V.M. Shkolnikov. – М.: ООО "Publishing center "Tekhinform" of the International Academy of Informatization", 2010. – 756 p.:ill.
- Wolak, A.; Zajac, G. The Kinetics of Changes in Kinematic Viscosity of Engine Oils under Similar Operating Conditions. *Ekspluat. Niezawodn.—Maint. Reliab.* – 2017. – P. 260–267.
- Gelenov A.A., Automotive operating materials: textbook. Manual / A.A. Gelenov, T.I. Sochenko, V.G. Spirkin. – 4th ed., stereotype. – М.: Academy, 2015. – P. 11–5116.

10. Brekn A.D. Tribotechnical properties of modified lubricating oils: Abstract of Cand. Sci. (Tech.) Dissertation, St. Petersburg, 2011. – 20 p.
11. Trembach E.V. Motor and transmission oils, additives / E.V. Trembach. – Rostov n / D.: Phoenix, 2000. – P. 81–97.
12. Zhu, X.; Zhong, C.; Zhe, J. Lubricating Oil Conditioning Sensors for Online Machine Health Monitoring—A Review. *Tribol. Int.* 2017, 109, 473–484.
13. Popova E.A., Rubinstein I.A., Krein S.E. Oxidizability and antioxidant action of hydrocarbons of lubricating oils // *Chemistry and technology of fuels and oils.* – 1968. – № 12. – P. 43–47.
14. Sariyerli, G.S.; Sakarya, O.; Akcadag, U.Y. Comparison Tests for the Determination of the Viscosity Values of Reference Liquids by Capillary Viscometers and Stabinger Viscometer SVM 3001. *Int. J. Metrol. Qual. Eng.* 2018, 9.
15. Study of residual properties of treated automobile engine oil / N.S. Kaminsky, P.R. Gosteva, O.G. Mikhailova, S.M. Ugay // *International Journal of Advanced Studies.* – 2023. – Vol. 13, № 3. – Pp. 115–129. – DOI 10.12731/2227-930X-2023-13-3-115-129. – EDN OOPFUE.
16. Rahimi, Mohammad Modeling and classifying the in-operando effects of wear and metal contaminations of lubricating oil on diesel engine: A machine learning approach / Mohammad Rahimi, Mohammad-Reza Pourramezan, Abbas Rohani // *Expert Systems with Applications.* – 2022. – № 203. – P. 1–10. – ISSN 0957-4174
17. Study on the influence of key structural parameters of turbine heat shields on the thermal load of bearing shell / Chao Ma, Guangqian Zhu, Zhanhao Chen, Shanshan Guo // *Case Studies in Thermal Engineering.* – 2025. – № 70. – P. 1–18. – ISSN 2214-157X
18. Change in the freezing point of motor oil when fuel gets in / N.A. Distergoft, V.D. Bakulina, S.V. Korneev, N. Yu. Machekhin // *Engineering and technology of petrochemical and oil and gas production: Proceedings of the 14th International Scientific and Technical Conference, Omsk, March 12–15, 2024.* – Omsk: Omsk State Technical University, 2024. – P. 16. – EDN SOQDWC.
19. The influence of high temperatures on the change in the performance characteristics of motor oils when exposed to fuel / S.V. Korneev, V.D. Bakulina, Ya.V. Yarmovich, S.V. Pashukevich, V.B. Permyakov // *Engineering and technology of petrochemical and oil and gas production: materials of the 10th Int. scientific-technical conf. (Russia, Omsk, February 26–29, 2020) / Ministry of Education of Omsk Region [and others]; editorial board: V. A. Likholobov et al. Omsk: OmskGTU Publishing House, 2020.* – P. 11–12. – ISBN 978-5-8149-2977-8.
20. Napiórkowski, J.; Gonera, J. Analysis of Failures and Reliability Model of Farm Tractors. *Agric. Eng.* 2020. — 89–101.