

MPNТИ 61.51.31

[https://doi.org/10.18321/cpc24\(3\)435-449](https://doi.org/10.18321/cpc24(3)435-449)

Физико-химические характеристики отработанных моторных масел и их ресурсный потенциал

А.Н. Сабитова¹, Ж.Ш. Шәріпхан^{1*}, Н.Ж. Мухамедияров¹,
А.Е. Темиржанова², Е.П. Евлампиева¹

¹Shakarim University, ул. Глинки, 20а, Семей, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

ARTICLE INFO

Получено
08.06.2026

Получено в исправленном
виде
28.07.2026

Принято
17.08.2026

Ключевые слова:

отработанные моторные
масла; физико-
химические свойства;
ИК-спектроскопия;
вязкость; элементный
состав; вторичное сырье;
дорожные материалы

АННОТАЦИЯ

В условиях роста объемов образования отработанных моторных масел и ограниченных возможностей их безопасной утилизации актуальной задачей являются оценка их ресурсного потенциала и поиск направлений повторного использования. Целью исследования является изучение физико-химических свойств отработанных моторных масел различного происхождения (автобусного, автомобильного и тракторного) после эксплуатации и их предварительной очистки методом простой фильтрации для обоснования возможностей их применения в качестве вторичного сырья. В работе использован комплекс методов, включающий термический анализ, ИК-спектроскопию, реологические испытания и определение элементного состава. Установлено, что отработанные масла характеризуются снижением температур вспышки и воспламенения, что свидетельствует о потере термической стабильности. Вязкость образцов при 40 °C варьирует: для тракторного масла характерны пониженные значения вследствие разбавления примесями, тогда как для автомобильного – повышенные, обусловленные накоплением продуктов окисления и полимеризации. По данным ИК-спектроскопии выявлены карбонильные соединения, подтверждающие развитие окислительных процессов, наиболее выраженных в автомобильном масле. Элементный анализ показал повышенные концентрации Fe, Cu, Pb и Zn, связанные с износом деталей двигателя и поступлением загрязнений. Сделан вывод, что, несмотря на ограниченную пригодность для повторного использования по прямому назначению, отработанные моторные масла сохраняют значительный ресурсный потенциал за счет содержания тяжелых углеводородных фракций и продуктов окисления, что позволяет рассматривать их как вторичное сырье для применения в дорожном и строительном производстве, включая модификацию битумов и получение композиционных материалов, способствуя снижению экологической нагрузки и реализации принципов циркулярной экономики.

1. Введение

Моторные масла играют ключевую роль в обеспечении надежной и эффективной работы двигателей внутреннего сгорания, выполняя функции смазки, охлаждения и защиты деталей от износа и коррозии [1]. Их эксплуатационные характеристики определяются комплексом физико-химических свойств [2], включая вязкость, температурные параметры и элементный состав, которые изменяются в процессе эксплуатации под воз-

действием термоокислительных и механических факторов [3]. В последние годы (2015-2025 гг.) в научной литературе значительное внимание уделяется изучению деградации моторных масел [4], механизмам изменения их свойств и разработке методов мониторинга их состояния [5].

Параллельно с этим в последние 5-10 лет активно развиваются исследования, направленные на переработку отработанных моторных масел и их вовлечение в хозяйственный оборот в рамках концепции циркулярной экономики [6].

*Corresponding author: Zh.Sh. Sharipkhan; E-mail address: j.sharipkhan@shakarim.kz

Отработанные масла рассматриваются не только как опасные отходы [7], содержащие токсичные металлы и полициклические углеводороды [8], но и как потенциальный вторичный ресурс [9]. Наиболее перспективным направлением является их использование в дорожном строительстве [10], в частности при модификации битумов и получении асфальтобетонных смесей, где они способны выполнять функции пластификаторов и структурообразующих добавок [11]. В то же время установлено, что эксплуатация моторных масел сопровождается сложными физико-химическими преобразованиями, включая термоокислительную деструкцию, разложение присадок и накопление продуктов износа, что приводит к изменению вязкости, снижению температур вспышки и воспламенения, а также увеличению концентраций металлов (Fe, Cu, Pb, Zn) [5], выделяющихся в результате износа деталей двигателя [6]. В этой связи методы ИК-спектроскопии, термического анализа и элементного анализа рассматриваются как наиболее информативные инструменты оценки степени деградации масел.

Вместе с тем отработанные моторные масла представляют значительную экологическую опасность, поскольку содержат токсичные металлы [12], полициклические ароматические углеводороды и продукты деградации [13]. Их попадание в почву и водные объекты нарушает биогеохимические процессы, снижает активность микроорганизмов и способствует биоаккумуляции токсичных элементов в пищевых цепях [14]. Традиционные методы обращения с такими отходами, включая сжигание и использование в качестве топлива или смазки [7], сопровождаются образованием токсичных выбросов [8] и дополнительным загрязнением окружающей среды [15]. В связи с этим актуальной задачей является разработка экологически безопасных и ресурсосберегающих способов обращения с отработанными моторными маслами [16]. Перспективным направлением является их вовлечение в инновационные технологии переработки [10], в частности использование в дорожном строительстве и производстве композиционных материалов [11], включая совместное применение с металлургическими шлаками [17]. Такие подходы позволяют снизить токсичность отходов, уменьшить их объем и придать им ресурсный потенциал, улучшая эксплуатационные характеристики строительных материалов при соблюдении экологических требований [9].

Несмотря на значительное количество публи-

каций, существующие исследования в основном ориентированы либо на диагностику состояния масел [18], либо на технологии их переработки, тогда как комплексные работы, объединяющие оценку степени деградации масел различного происхождения с учетом их предварительной обработки и обоснование направлений их практического применения, представлены ограничено. Кроме того, недостаточно изучено влияние простой фильтрации на изменение физико-химических характеристик масел и их последующий ресурсный потенциал [19].

Объектом исследования являются отработанные моторные масла (ОММ), образующиеся при эксплуатации автомобильной, автобусной и сельскохозяйственной техники. Выбор данных объектов обусловлен различиями в условиях эксплуатации, нагрузках и режимах работы двигателей, что позволяет выявить особенности деградации масел и вариативность их физико-химических свойств. Целью исследования является комплексная оценка качества отработанных моторных масел на основе анализа вязкости, температурных характеристик, элементного состава и содержания воды. Такой подход позволяет учитывать как реологические свойства масел, так и их химическую трансформацию в процессе эксплуатации, включая влияние влаги как фактора деградации, и направлен на выявление закономерностей изменения свойств масел, что имеет практическое значение для повышения надежности двигателей внутреннего сгорания и разработки экологически безопасных стратегий их утилизации.

Таким образом, в работе основной акцент сделан на исследовании ключевых характеристик отработанных моторных масел с целью оценки их качества и обоснования перспектив их применения в строительной отрасли для улучшения свойств строительных материалов при соблюдении экологических требований.

Научная новизна исследования заключается в комплексной сравнительной оценке отработанных моторных масел различного происхождения с учетом типа техники, условий эксплуатации и влияния простой фильтрации на их физико-химические свойства. В работе совместно рассмотрены ИК-спектроскопические признаки окислительной деградации, изменение вязкости, температурные характеристики, содержание воды и элементный состав масел, что позволило не только охарактеризовать степень их деградации, но и определить возможные направления дальнейшего использования в качестве вторичного сырья.

2. Экспериментальная часть

2.1. Материалы

В качестве объектов исследования использовали образцы отработанных моторных масел, отобранные из мест накопления на объектах технического обслуживания различных видов техники в г. Семей. Исследуемые масла представляли собой не индивидуальные пробы определенной коммерческой марки, а смешанные сливы отработанных моторных масел, образующиеся в процессе текущего обслуживания транспортных средств и сельскохозяйственной техники.

В связи с тем, что в условиях реального сбора отработанные масла различных производителей, марок, сроков эксплуатации и составов присадок поступают в общие накопительные емкости, достоверное установление исходной марки каждого масла не представлялось возможным. Поэтому классификацию образцов проводили по источнику образования и типу обслуживаемой техники. Для исследования отобраны три группы образцов (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика и происхождение образцов отработанных моторных масел (ОММ)

Обозначение образца	Источник отбора	Характеристика образца
ОММ-ЛА	Станция технического обслуживания легковых автомобилей	Смешанный слив отработанных моторных масел легковых автомобилей
		Смешанный слив отработанных моторных масел автобусных двигателей
ОММ-АБ	Автобусный парк	
ОММ-СХ	Объект обслуживания сельскохозяйственной техники	Смешанная проба отработанных моторных масел, преимущественно из тракторной техники

Образцы отбирали из емкостей, предназначенных для сбора отработанных масел, после предварительного перемешивания содержимого с целью повышения репрезентативности пробы. Отбор осуществляли в чистые сухие стеклянные бутылки объемом 1,0 л с герметичными крышками, исключающими попадание атмосферной влаги и посторонних загрязнений. Каждую пробу

маркировали с указанием источника отбора, типа техники и даты отбора.

До проведения анализа образцы хранили при комнатной температуре 20-25 °С в затемненном месте для предотвращения дополнительной фотохимической деградации.

Предварительная подготовка образцов включала удаление грубодисперсных механических примесей, таких как частицы металлов, сажа, продукты износа и другие взвешенные загрязнения, способные повлиять на результаты физико-химического анализа. Для этого часть образцов подвергали фильтрации через бумажный фильтр типа «синяя лента». Фильтрацию проводили при комнатной температуре без дополнительного нагрева и давления.

Для оценки влияния механических примесей на свойства отработанных масел нефилтрованные и отфильтрованные образцы анализировали параллельно. Такой подход позволил сравнить характеристики исходных отработанных масел и образцов после простой предварительной очистки, а также оценить их ресурсный потенциал как вторичного углеводородного сырья.

Исследование ориентировано на оценку свойств реальных потоков отработанных моторных масел, формирующихся в условиях практического сбора, а не на анализ индивидуальных товарных марок масел.

2.2. ИК-спектроскопия

Химические изменения в образцах моторных масел оценивали методом инфракрасной спектроскопии. Метод применяли для выявления признаков окисления, деградации присадок, а также возможного присутствия влаги, гликолей и продуктов сгорания топлива. Анализ проводили на ИК-Фурье-спектрофотометре ФТ-801 (пр-во Россия, Новосибирск) в диапазоне 4000-400 см⁻¹. Пробы масла наносили на ИК-кювету, после чего регистрировали спектры. Интерпретацию спектров проводили по характерным областям поглощения: 2920-2850 см⁻¹ – валентные колебания С–Н в группах CH₂ и CH₃; 1460-1370 см⁻¹ – деформационные колебания CH₂ и CH₃; 720-730 см⁻¹ – маятниковые колебания длинноцепочечных алканов; 1700-1750 см⁻¹ – карбонильные группы С=О, являющиеся маркерами окислительных процессов; 3200-3600 см⁻¹ – гидроксильные группы О–Н, указывающие на возможное присутствие воды или гликолей; 950-1200 см⁻¹ – колебания S=O, связанные с присадками или продуктами сгорания.

2.3. Определение кинематической вязкости

Перед определением кинематической вязкости образцы моторных масел фильтровали для удаления механических частиц и продуктов износа, способных повлиять на результаты измерений. Кинематическую вязкость определяли при 40 и 100 °С с использованием стеклянных капиллярных вискозиметров Koehler в соответствии с требованиями стандарта ASTM D446. Вискозиметр подбирали с учетом ожидаемого диапазона вязкости исследуемого масла. Перед измерением прибор промывали органическими растворителями, высушивали и термостатировали. Кинематическую вязкость рассчитывали по времени истечения заданного объема масла через капилляр с учетом постоянной вискозиметра.

2.4. Определение температур вспышки и воспламенения

Температуры вспышки и воспламенения отработанных и отфильтрованных масел определяли в открытом тигле согласно ГОСТ 4333-2021 «Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле». Испытания проводили на установке открытого типа с использованием термометра с диапазоном измерений до 300 °С (рис. 1). Тигель заполняли пробой масла, избегая смачивания его стенок, после чего осуществляли равномерный нагрев. На начальном этапе скорость нагрева составляла 14–17 °С/мин. При приближении к предполагаемой температуре вспышки скорость нагрева снижали до 5–6 °С/мин. Начиная с температуры, находящейся примерно на 28 °С ниже ожидаемой температуры вспышки, через каждые 2 °С проводили

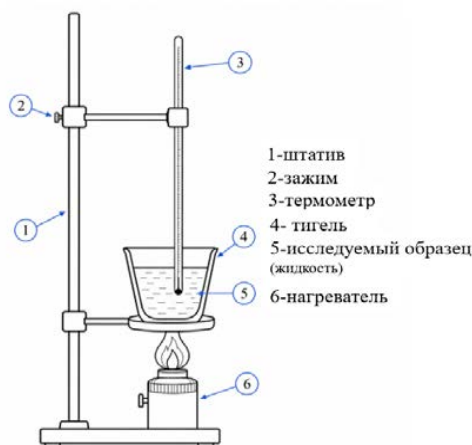


Рис. 1. Установка для определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле.

воздействие испытательным пламенем. Температуру вспышки фиксировали при кратковременном воспламенении паров масла, а температуру воспламенения – при устойчивом горении пробы в течение не менее 5 секунд.

2.5. Определение содержания воды

Массовую долю воды в моторных маслах определяли методом азеотропной отгонки с органическим растворителем с использованием ловушки Дина-Старка (рис. 2). В качестве растворителя применяли ксилол, обеспечивающий эффективное извлечение воды из масляной матрицы при кипячении. Метод основан на совместной перегонке воды с растворителем и последующем количественном измерении объема воды, собранной в градуированной ловушке. Анализ проводили по ГОСТ 2477-2014 [20]. Полученные результаты использовали для оценки влияния влаги на эксплуатационные свойства масел, включая вязкость, склонность к эмульгированию и коррозионную активность.

2.6. Подготовка проб и определение элементного состава

Для определения элементного состава навески отработанных масел массой 3 г помещали в фарфоровые тигли и прокаливали в муфельной печи при температуре 550 ± 25 °С в течение 2–2,5 ч до получения зольного остатка. Полученный остаток растворяли в азотной кислоте марки «ос.ч.» с последующим доведением объема раствора до 5–10 мл. Из подготовленного раствора отбирали аликвоту объемом 1 мл и разбавляли 1% раствором HNO_3 до конечного объема 10 мл.



Рис. 2. Прибор для определения содержания воды.

Химический состав определяли методом оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (далее ICP-OES) на приборе FPI EXPEC 6500 производства Focused Photonics Inc. (КНР). Диапазон рабочих длин волн прибора составлял 160-900 нм, спектральное разрешение – менее 0,007 нм при 200 нм. Анализ проводили с учетом требований ISO 11885:2007 [21], регламентирующего определение выбранных элементов методом ICP-OES.

Для построения калибровочных графиков использовали мультиэлементные стандартные растворы 233 и IV-ICPMS-71A. Контроль качества измерений осуществляли путем измерения калибровочного раствора через каждые 10 проб. При неудовлетворительном результате калибровки (отклонение калибровочного графика на 8-10%) проводили перекалибровку прибора, при которой учитывались новые параметры фона.

Анализ выполнен в соответствии со стандартной методикой ISO 17294-2:2003 (E). Экспериментальные данные обрабатывали с использованием вариационно-статистического, корреляционного и регрессионного методов [22], применяемых программ STATISTICA и Microsoft Excel [23].

3. Результаты и их обсуждение

3.1. ИК-спектроскопический анализ отработанных масел

Результаты ИК-спектроскопического анализа представлены на рис. 3 и отражают изменения химического состава отработанных моторных масел различного происхождения. Для всех исследованных образцов характерны интенсивные полосы в области $2920\text{--}2850\text{ см}^{-1}$, соответствующие валентным колебаниям C–H в алифатических углеводородах, что свидетельствует о сохранении базовой углеводородной структуры масел.

В спектрах автобусного и тракторного масел отсутствуют выраженные полосы в областях $1700\text{--}1750\text{ см}^{-1}$ и $3200\text{--}3600\text{ см}^{-1}$, что свидетельствует о низкой степени термоокислительной деградации и незначительном содержании влаги и гидроксильных соединений. Сохранение интенсивных полос в областях $2920\text{--}2850\text{ см}^{-1}$ (валентные колебания C–H) и $1458\text{--}1377\text{ см}^{-1}$ (деформационные колебания $-\text{CH}_2$ и $-\text{CH}_3$) указывает на преобладание насыщенной алифатической углеводородной основы без существенной трансформации

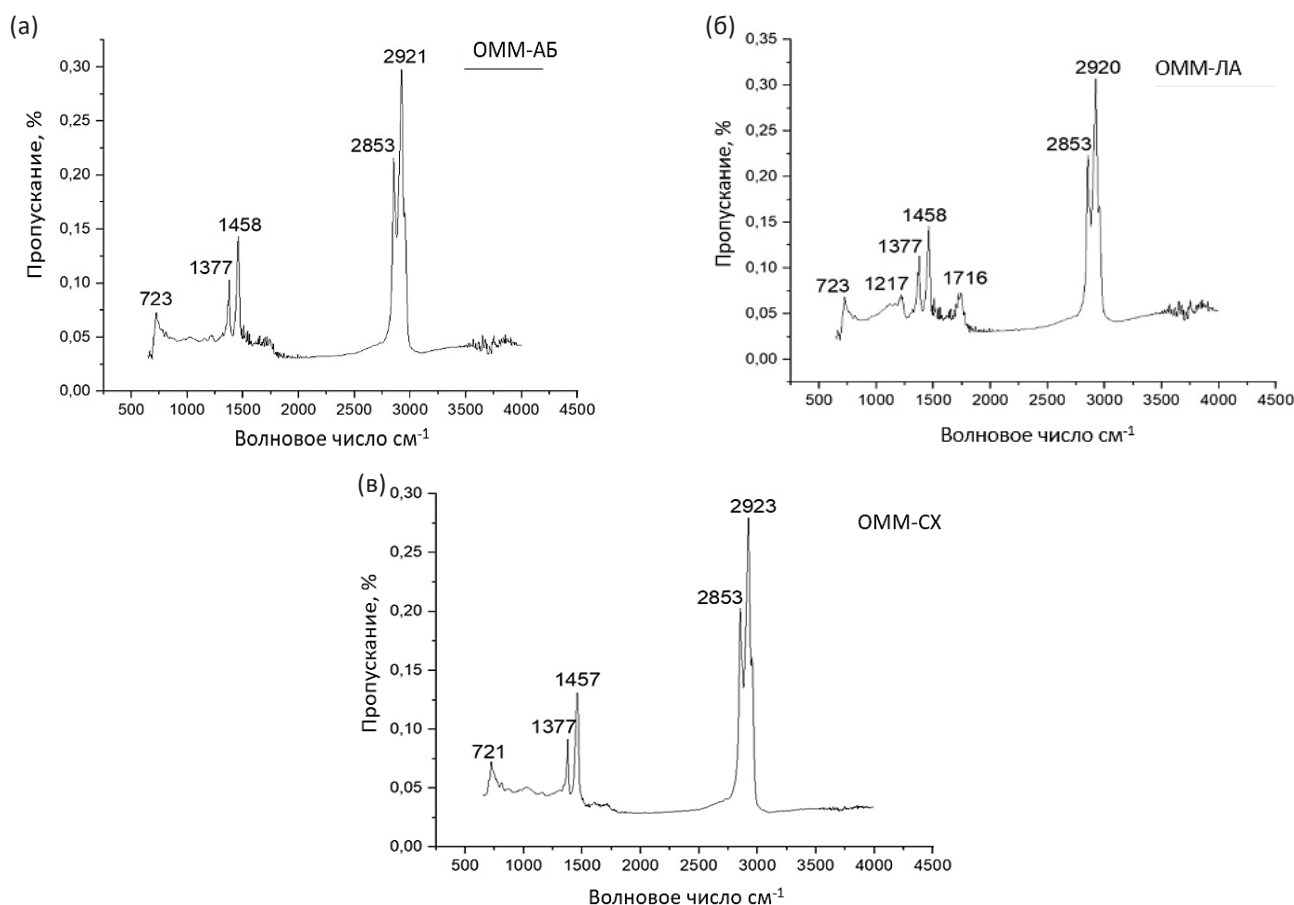


Рис. 3. ИК-спектры образцов отработанных моторных масел ОММ-АБ – автобуса (а), ОММ-ЛА – автомобиля (б), ОММ-СХ – трактора (в).

структуры [24]. Отсутствие карбонильной полосы ($C=O$) и полосы $O-H$ подтверждает, что процессы окисления, гидролиза и взаимодействия с охлаждающими жидкостями в данных образцах протекали слабо, что может быть связано с более стабильными условиями эксплуатации, меньшими термическими нагрузками или более коротким сроком использования масел [25]. В целом это свидетельствует о сохранении функциональных свойств базовой основы и присадочного пакета и позволяет характеризовать данные масла как относительно стабильные даже после эксплуатации [26].

В отличие от этого, в спектре автомобильного масла зафиксирована выраженная полоса при $\sim 1716\text{ см}^{-1}$, соответствующая карбонильным группам ($C=O$), а также полоса в области

$\sim 1217\text{ см}^{-1}$, связанная с колебаниями $C-O$. Формирование данных функциональных групп обусловлено протеканием процессов термоокислительной деструкции углеводородной основы и присадок с образованием кетонов, альдегидов, карбоновых кислот и сложных эфиров. Появление и рост интенсивности карбонильной полосы является общепринятым индикатором старения масел и отражает накопление вторичных продуктов окисления. Дополнительно наличие полос в области $C-O$ может свидетельствовать о распаде присадок (в том числе детергентных и антиокислительных) и образовании кислородсодержащих соединений [27]. Это указывает на более интенсивные эксплуатационные воздействия, такие как повышенные температуры, контакт с продуктами сгорания топлива и длительное время работы масла. Полученные результаты согласуются с литературными данными [24], согласно которым появление карбонильных полос в области $1700-1750\text{ см}^{-1}$ рассматривается как один из наиболее информативных критериев деградации моторных масел и широко используется для мониторинга их состояния [28]. Таким образом, автомобильное масло характеризуется более высокой степенью окислительной трансформации [25], тогда как автобусное и тракторное масла сохраняют спектральный профиль, близкий к «свежему» состоянию [26].

Выявленные различия в степени деградации исследованных масел указывают на изменение их физико-химических свойств в процессе эксплуатации. Накопление продуктов окисления и присутствие тяжелых углеводородных фракций способствует увеличению полярности и вязкости системы, что отражается на структурных и адгези-

онных характеристиках масел [29]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что степень термоокислительной трансформации может существенно влиять на свойства отработанных масел и определять направления их дальнейшего использования. При этом характер и интенсивность деградиционных процессов являются ключевыми факторами, определяющими изменение состава и свойств исследуемых образцов [30, 31].

3.2. Кинематическая вязкость отработанных моторных масел

Кинематическая вязкость является одной из ключевых характеристик моторных масел, определяющей их смазочные свойства и отражающей степень деградации в процессе эксплуатации. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели кинематической вязкости исследуемых моторных масел

№	Вид отфильтрованного масла	Вязкость при 40 °С, ($\text{мм}^2/\text{с}$)	Вязкость при 100 °С, ($\text{мм}^2/\text{с}$)
1	Тракторное	18	5,1
2	Автобусное	44,1	8,7
3	Автомобильное	72,3	14,7

Установлено, что значения вязкости исследованных образцов существенно различаются. Наименьшие показатели зафиксированы для тракторного масла ($18\text{ мм}^2/\text{с}$ при 40 °С и $5,1\text{ мм}^2/\text{с}$ при 100 °С), тогда как автобусное масло характеризуется промежуточными значениями ($44,1$ и

$8,7\text{ мм}^2/\text{с}$, соответственно). Максимальная вязкость наблюдается у автомобильного масла ($72,3$ и $14,7\text{ мм}^2/\text{с}$), что указывает на более выраженные изменения его структуры. Для всех образцов характерно снижение вязкости с увеличением температуры, что соответствует общим реологическим закономерностям поведения нефтепродуктов [32]. При этом значения вязкости при

100 °С находятся в диапазоне $5-16\text{ мм}^2/\text{с}$, что соответствует нормативным требованиям для моторных масел и свидетельствует о сохранении базовых эксплуатационных свойств [33].

Различия в вязкости между образцами обусловлены совокупностью факторов. Повышение вязкости, наблюдаемое в автомобильном масле, связано с накоплением продуктов окисления и полимеризации, приводящих к увеличению молекулярной массы компонентов. Напротив, по-

ниженные значения вязкости тракторного масла могут быть обусловлены его разбавлением топливом, а также разрушением присадок и термической деструкцией углеводородной основы. Подобные тенденции ранее отмечались в ряде исследований [34, 35].

3.3. Температуры вспышки и воспламенения отработанных масел

Результаты определения температур вспышки и воспламенения отработанных и отфильтрованных моторных масел представлены на

рис. 4. Установлено, что исследованные образцы характеризуются различной термической стабильностью в зависимости от типа техники и степени деградации масла.

Для отработанного автобусного масла температура вспышки составила около 165 °С, а температура воспламенения – ~230 °С. Для автомобильного масла вспышка фиксировалась в диапазоне 150–160 °С, тогда как воспламенение наблюдалось при ~245 °С. Наиболее низкие значения выявлены для тракторного масла, у которого температура вспышки составила ~150 °С, а воспламенение происходило при ~165 °С. После

фильтрации для большинства образцов отмечено снижение температур вспышки и воспламенения. Наиболее выраженные изменения наблюдались для тракторного масла, у которого вспышка фиксировалась уже при ~140 °С, а воспламенение – при ~150 °С. Для автобусного масла температура вспышки снижалась до ~150 °С, а воспламенение наблюдалось при ~225 °С. У автомобильного масла температуры вспышки и воспламенения составили ~190 и ~235 °С, соответственно.

Полученные результаты свидетельствуют о снижении термической стабильности масел после эксплуатации и последующей фильтрации. Вероятно, это связано с изменением фракционного состава масел вследствие удаления механических примесей и части тяжелых высокомолекулярных компонентов, а также с накоплением легколетучих продуктов окисления и топливных примесей [36]. Аналогичные закономерности описаны в ряде исследований, где снижение температур вспышки связывается с термоокислительной деградацией и накоплением низкомолекулярных соединений [37, 38]. Особенно выраженное снижение температур вспышки и воспламенения у тракторного масла может быть обусловлено более тяжелыми условиями эксплуатации сель-

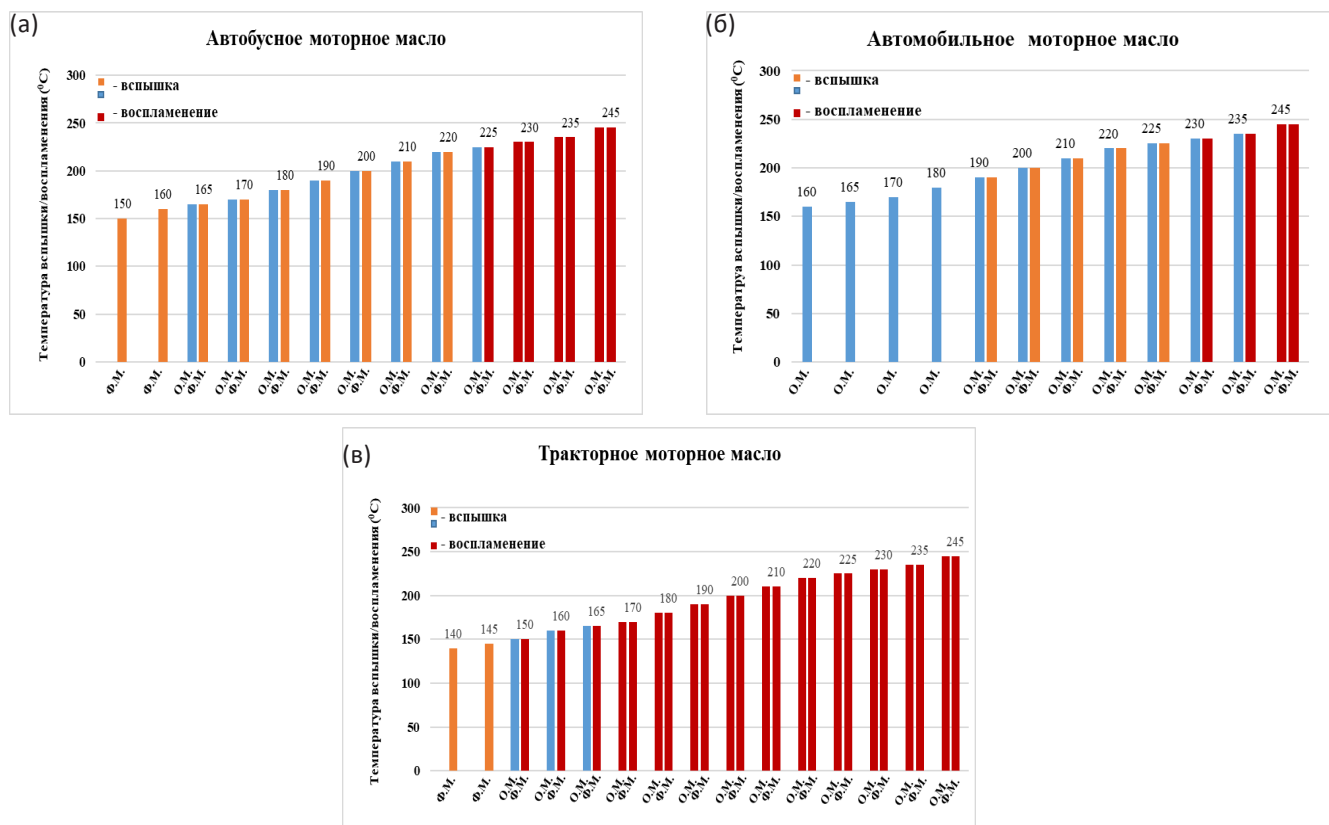


Рис. 4. Показатели температуры вспышки и воспламенения образцов отработанных и отфильтрованных масел, испытываемых транспортных средств: (а) – автобус; (б) – автомобиль; (в) – трактор.
Примечание: Ф.М. – отфильтрованное масло; О.М. – отработанное масло.

скохозыистойвенной техники [39], включая переменные нагрузки, повышенное загрязнение и длительную работу двигателя в режиме высоких температур [40-42], что согласуется с результатами работы [43].

С практической точки зрения снижение температур вспышки ограничивает возможность повторного применения таких масел в качестве смазочных материалов или топлива вследствие повышения их пожароопасности. Вместе с тем наличие тяжелых углеводородных фракций и продуктов окисления позволяет рассматривать отработанные масла как перспективное вторичное сырье для дорожного и строительного применения. В частности, они могут использоваться при получении битумных композиций, модификации асфальтобетонных смесей, а также в составе гидроизоляционных и антикоррозионных покрытий, где определяющее значение имеют их вязущие и структурообразующие свойства.

3.4. Содержание воды в отработанных моторных маслах

По результатам определения содержания воды в исследованных образцах отработанных моторных масел установлено, что вода в пробах не обнаружена в пределах чувствительности применяемого метода. Значения данного показателя находились ниже предела обнаружения прибора, поэтому содержание воды в образцах обозначено как «не обнаружено». Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии значимого количества свободной и растворенной влаги в составе исследованных масел, что является важным условием для их дальнейшей регенерации и повторного использования.

Полученные результаты свидетельствуют о сохранении базовых эксплуатационных свойств масел, поскольку присутствие влаги даже в небольших количествах может существенно влиять на их физико-химические характеристики. Известно, что вода способствует ускорению окислительных процессов, разрушению присадок, образованию эмульсий и шламов, а также повышает вероятность коррозии металлических деталей двигателя. Кроме того, наличие влаги может приводить к изменению вязкости масел и ухудшению стабильности смазочной пленки.

Низкое содержание воды в исследованных образцах позволяет предположить, что на момент отбора масла не подвергались интенсивному загрязнению охлаждающей жидкостью или ат-

мосферной влагой. Это также указывает на отсутствие критических нарушений герметичности систем охлаждения и смазки исследуемой техники. Отсутствие значимого количества воды особенно важно при оценке дальнейшего ресурсного потенциала отработанных масел, поскольку повышенная влажность ограничивает возможности их повторного использования и усложняет процессы переработки.

Полученные результаты согласуются с опубликованными литературными данными. Согласно рекомендациям [44], содержание воды в эксплуатационных моторных маслах при нормальных условиях обычно составляет от 0,01 до 0,06%. В работе [45] показано, что концентрация растворенной воды в моторных маслах может быть менее 100 ppm, тогда как [46, 47] отмечают, что даже после отделения свободной воды в масле может сохраняться растворенная фракция порядка 2600 ppm, оказывающая влияние на трибологические свойства и эффективность присадок. На этом фоне исследованные образцы характеризуются сравнительно низким содержанием влаги, что свидетельствует о сохранении удовлетворительного состояния масляной основы.

Низкое содержание воды в исследованных образцах способствует сохранению стабильных физико-химических и реологических свойств масел, снижает вероятность образования эмульсий и указывает на отсутствие значительных процессов увлажнения в ходе эксплуатации. Полученные результаты свидетельствуют о сравнительно низкой степени гидролитической деградации исследованных масел и согласуются с данными литературы о влиянии влаги на ускорение окислительных процессов и ухудшение эксплуатационных характеристик. Вместе с тем контроль содержания воды остается важным фактором оценки состояния моторных масел, поскольку накопление влаги в процессе длительной эксплуатации может приводить к интенсификации процессов деградации и изменению свойств масляной основы.

3.5. Элементный состав отработанных моторных масел

Результаты элементного анализа исследованных моторных масел представлены в табл. 2. Установлено, что состав исследованных образцов существенно различается в зависимости от типа техники и условий эксплуатации. В процессе работы двигателя в маслах накапливаются элементы износа (Fe, Cu, Al, Cr, Ni), токсичные элементы (Pb,

Таблица 3. Содержание элементов в составе исследуемых видов моторных масел, мг/кг

Элементы	Автобусное		Автомобильное		Тракторное	
	отфильтрованное	отработанное	отфильтрованное	отработанное	отфильтрованное	отработанное
Al	5,6±0,9	50±8	3,0±0,5	3,30±0,50	6,1±1,0	56±9
Ba	2,3±0,4	7,0±1,1	0,08±0,01	83±13	0,20±0,04	3,20±0,50
Ca	30±5	1250±200	33±5	2700±430	30±5	340±54
Cr	<0,01	<0,01	<0,01	5,80±0,90	<0,01	<0,01
Cu	3,4±0,5	17±3	1,9±0,3	48±8	4,8±0,8	12±2
Fe	33±5	100±16	16±3	65±10	65±10	10±2
K	6,0±1,0	77±12	3,1±0,5	94±15	3,8±0,6	46±7
Mg	5,0±0,8	48±8	6,1±1,0	64±10	12,0±2,0	30±5
Mn	0,50±0,08	0,50±0,07	0,40±0,06	0,09±0,01	1,1±0,2	<0,01
Na	27±4	280±44	30±5	140±22	21±3	74±12
Ni	0,40±0,07	<0,01	0,50±0,08	0,80±0,10	0,50±0,07	<0,01
Pb	4,8±0,8	22±4	0,40±0,07	5,80±0,90	8,0±1,2	2,50±0,40
Sr	0,40±0,06	3,10±0,50	0,40±0,06	2,30±0,40	0,90±0,10	3,10±0,50
V	0,20±0,03	0,20±0,03	0,07±0,01	<0,01	0,30±0,04	<0,01
Zn	130±21	590±93	180±30	960±150	56±9	35±6

Mn), а также компоненты присадочных пакетов (Ca, Mg, Zn, Ba, Na и K), что отражает степень деградации масел и особенности эксплуатации двигателей.

Для автобусных и автомобильных масел характерно повышение концентраций большинства элементов в отработанных образцах по сравнению с отфильтрованными маслами. Наиболее выраженные изменения наблюдаются для Ca, Zn, Na, Cu и Pb. В автомобильных маслах зафиксированы максимальные концентрации Ca (2700 мг/кг), Zn (960 мг/кг) и Ba (83 мг/кг), что указывает на высокое содержание моюще-диспергирующих и противоизносных присадок. Повышенные концентрации Cu (48 мг/кг), Cr (5,8 мг/кг) и Ni (0,8 мг/кг) также свидетельствуют об интенсивном износе металлических узлов двигателя.

Для автобусных масел характерны наиболее высокие концентрации Fe (100 мг/кг), Pb (22 мг/кг) и Na (280 мг/кг), что может указывать на повышенный износ цилиндро-поршневой группы и возможное поступление загрязняющих компонентов из топлива и окружающей среды. В тракторных маслах выявлено повышенное содержание Al (56 мг/кг) при относительно низких концентрациях Ca и Zn, что, вероятно, связано со спецификой эксплуатации сельскохозяйственной техники и особенностями состава присадок [48, 49].

Полученные результаты согласуются с литературными данными, в соответствии с которыми

повышенные концентрации Fe, Cu, Cr и Ni рассматриваются в качестве индикатора износа соответствующих деталей двигателя [50, 51]. Высокие концентрации Ca, Zn и Ba отражают особенности присадочных пакетов и состав базовых масел, что также отмечается в работах [52, 53]. Наличие Pb, Mn и других токсичных элементов подтверждает экологическую опасность отработанных масел и необходимость их контролируемой утилизации [54, 55].

С научной точки зрения полученные результаты подтверждают, что распределение элементов в отработанных маслах является информативным показателем процессов деградации и износа двигателей. Различия в концентрациях элементов отражают не только специфику условий эксплуатации техники, но и особенности рецептур смазочных материалов [54].

Вместе с тем выявленное содержание тяжелых металлов и присадочных компонентов указывает на необходимость предварительной подготовки и контроля при последующем использовании таких отходов. Несмотря на экологические ограничения, современные исследования рассматривают переработанные отработанные масла как перспективное вторичное сырье для дорожного и строительного применения [56], в частности при модификации битумов и асфальтобетонных смесей [57, 58]. Таким образом, полученные результаты подтверждают как диагностическую

значимость элементного состава моторных масел, так и необходимость дальнейших исследований, направленных на оценку экологической безопасности и ресурсного потенциала продуктов их переработки.

4. Заключение

Проведенное исследование позволило выполнить комплексную оценку физико-химических свойств отработанных моторных масел различного происхождения и установить закономерности изменения их характеристик в процессе эксплуатации. Полученные результаты показали, что эксплуатация масел сопровождается развитием термоокислительных процессов, изменением вязкостных характеристик, снижением температур вспышки и воспламенения, а также накоплением металлов, связанных с износом деталей двигателя и деградацией присадочных компонентов. По данным ИК-спектроскопии наиболее выраженные признаки окислительной трансформации выявлены в автомобильном масле, для которого характерно появление карбонильных соединений, тогда как автобусное и тракторное масла сохраняли более стабильный спектральный профиль. Установленные различия подтверждают влияние условий эксплуатации и режимов работы техники на степень деградации моторных масел.

Результаты определения кинематической вязкости показали существенную вариативность свойств исследованных образцов: повышение вязкости автомобильного масла связано с накоплением продуктов окисления и полимеризации, тогда как снижение вязкости тракторного масла обусловлено разбавлением топливом и разрушением углеводородной основы. Анализ температур вспышки и воспламенения подтвердил снижение термической стабильности отработанных масел после эксплуатации и фильтрации, что свидетельствует о накоплении легколетучих соединений и изменении их фракционного состава. Одновременно установлено низкое содержание воды во всех исследованных образцах, что указывает на отсутствие выраженной гидролитической деградации и сохранение относительной стабильности масляной основы.

Элементный анализ выявил повышенные концентрации Fe, Cu, Pb, Zn, Ca и других элементов, отражающих процессы износа двигателя и особенности состава присадок. Полученные данные подтверждают диагностическую значимость эле-

ментного состава при оценке степени деградации масел и технического состояния двигателей. Вместе с тем присутствие токсичных элементов указывает на необходимость экологически безопасного обращения с такими отходами и контроля их дальнейшего использования.

Значимость работы заключается в реализации комплексного подхода, объединяющего ИК-спектроскопический, термический, реологический и элементный анализ отработанных моторных масел с учетом влияния простой фильтрации на их свойства. Полученные результаты расширяют представления о механизмах деградации масел различного происхождения и позволяют оценить их ресурсный потенциал как вторичного сырья. Установлено, что наличие тяжелых углеводородных фракций, продуктов окисления и органоминеральных компонентов создает предпосылки для использования отработанных масел в дорожном и строительном производстве, в частности при модификации битумов, производстве асфальтобетонных смесей, гидроизоляционных и композиционных материалов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением влияния различных методов очистки и регенерации на физико-химические свойства отработанных масел, оценкой экологической безопасности материалов на их основе, а также исследованием их влияния на эксплуатационные характеристики дорожных и строительных композитов. Полученные результаты могут служить научной основой для разработки ресурсосберегающих технологий переработки отработанных масел в рамках концепции циркулярной экономики.

С учетом происхождения исследованных отработанных моторных масел и полученных физико-химических данных предложены практические рекомендации по их дальнейшему использованию. Отработанное автомобильное масло характеризуется более выраженными признаками окислительной деградации, поэтому его целесообразно направлять на глубокую очистку и регенерацию. Его применение в качестве вторичного органического компонента возможно только после предварительной обработки и обязательного контроля экологической безопасности.

Автобусное масло отличается более стабильным спектральным профилем, что позволяет рассматривать его как наиболее перспективное сырье для фильтрации, регенерации и последующего использования в составе технических, битумных и композиционных материалов. Трак-

торное масло, для которого отмечено снижение вязкости, рекомендуется предварительно подвергать удалению легколетучих фракций, фильтрации и дополнительной оценке пригодности к повторному применению.

Таким образом, дальнейшее использование отработанных моторных масел должно осуществляться с учетом их происхождения, условий эксплуатации и степени изменения основных физико-химических показателей. Автомобильное масло требует более глубокой очистки вследствие выраженных окислительных изменений, автобусное масло может быть рекомендовано для регенерации после стандартной подготовки, а тракторное масло требует дополнительной обработки из-за возможного разбавления топливом и изменения вязкости. Полученные результаты могут быть использованы при разработке ресурсосберегающих технологий переработки отработанных масел и их безопасного вовлечения во вторичный оборот.

Author Contributions

Alfira Sabitova – Supervision; Methodology; Formal Analysis; Writing – Review & Editing. **Zhanna Sharipkhan** – Investigation; Data Curation; Formal Analysis. **Nurlan Mukhamediyarov** – Investigation; Formal Analysis; Data Curation; Validation; Writing – Original Draft. **Aray Temirzhanova** – Investigation; Data Curation; Writing – Original Draft; Visualization. **Elena Evlampieva** – Writing – Review & Editing; Validation; Writing – Original Draft.

Заявление о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность

Работа проведена при финансовой помощи Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант BR24993178 «Разработка инновационной технологии переработки вторичных ресурсов – отходов металлургических производств, побочных продуктов нефтепереработки и нефтедобычи».

References

- [1]. G.E. Totten, (Ed.). Handbook of Lubrication and Tribology: Volume I Application and Maintenance, Second Edition (2nd ed.) (2006) CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420003840>.
- [2]. A. Elnaggar, R. El-Adly, T. Altalhi, A. Alhadhrami, M. Farouk, et al. Oxidation stability of lubricating base oils. *Petroleum Science and Technology* 36 (2017) 1-7. <https://doi.org/10.1080/10916466.2017.1403450>.
- [3]. G.W. Stachowiak, A.W. Batchelor. *Engineering tribology* 24 (1993) Butterworth-Heinemann.
- [4]. M.G. Tobar, K.P. Pesantez, P.J. Romero, R.W.C. Urgiles. The Impact of Oil Viscosity and Fuel Quality on Internal Combustion Engine Performance and Emissions: An Experimental Approach. *Lubricants* 13 (2025) 188. <https://doi.org/10.3390/lubricants13040188>.
- [5]. A. Martini, U.S. Ramasamy, M. Len. Review of viscosity modifier lubricant additives. *Tribology Letters*, 66 (2018) 58. <https://doi.org/10.1007/s11249-018-1007-0>.
- [6]. H.A. Spikes. The history and mechanism of ZDDP. *Tribology Letters* 17 (2004) 469-489. <https://doi.org/10.1023/B:TRIL.0000044495.26882.b5>.
- [7]. C. Cabrera-Escobar, J. Moreno-Gutiérrez, R. Rodríguez-Moreno, E. Pájaro-Velázquez, F. Calderay-Cayetano, et al. A Review on Global Recovery Policy of Used Lubricating Oils and Their Effects on the Environment and Circular Economy. *Environments* 12 (2025) 135. <https://doi.org/10.3390/environments12050135>.
- [8]. S.M. Anisuzzaman, M. Jumaidi, N. Nasir. Used lubricating oil recovery process and treatment methods: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1195 (2021) 012031. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1195/1/012031>.
- [9]. M.R.I. Sazzad, M.M. Rahman, T. Hassan, A. Rifat, A.Al Mamun, et al. Advancing sustainable lubricating oil management: Re-refining techniques, market insights, innovative enhancements, and conversion to fuel. *Heliyon* 10 (2024) e39248. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39248>.
- [10]. S. Rațiu, L. Benea, M. Armioni. Application of used engine oil in the asphalt pavement industry. *Journal of Physics: Conference Series*. 2212 (2022) 012026. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2212/1/012026>.
- [11]. I. Mohi Ud Din, M.S. Mir. Correction to: Laboratory study on the use of reclaimed asphalt pavement and copper slag in warm mix asphalt pavements using waste engine oil as a rejuvenator. *International Journal of Pavement Research and Technology* 15 (2022) 560. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2022.100560>.

- doi.org/10.1007/s42947-021-00106-1.
- [12]. M. Armioni, S. Rațiu, M. Benea, V. Puțan. Overview on the environmental impact of used engine oil. *Journal of Physics: Conference Series* 2927 (2024) 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2927/1/012007>.
- [13]. R. Shankar, J.-H. Jung, A. Loh, J. G. An, S.Y. Ha, et al. Environmental significance of lubricant oil: A systematic study of photooxidation and its consequences. *Water Research* 168 (2020) 115183. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115183>.
- [14]. Toxicological Profile for Used Mineral-Based Crankcase Oil. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 1997. HEALTH EFFECTS. Available online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK598161/>.
- [15]. J.A. Botas, J. Moreno, J.J. Espada, D.P. Serrano, J. Dufour, et al. Recycling of used lubricating oil: Evaluation of environmental and energy performance by LCA. *Resources, Conservation and Recycling* 125 (2017) 315-323. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.010>.
- [16]. T. Oladimeji, J. Sonibare, J. Omoleye, M. Emetere, F. Elehinafe, et al. A review on treatment methods of used lubricating oil. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 9 (2018) 506-514.
- [17]. S. Rațiu, M. Armioni. An overview of methods and technologies for the production of alternative diesel fuel from used engine oil. *Journal of Physics: Conference Series* 2540 (2023) 012042. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2540/1/012042>.
- [18]. SAE International Technical Standard, Engine Oil Viscosity Classification, SAE Standard J300_201501 (2015) 1911. https://doi.org/10.4271/J300_201501.
- [19]. B. Fakinle, E. Odekanle, A. Olalekan, O. Odunlami, J. Sonibare, et al. Impacts of polycyclic aromatic hydrocarbons from vehicular activities on the ambient air quality of Lagos mega city. *Environmental Quality Management* 27 (2018) 1-11. <https://doi.org/10.1002/tqem.21563>.
- [20]. GOST 2477-2014 «Oil and Oil Products. Method for Determining Water Content» (In Russ.).
- [21]. ISO 11885:2007 «Water quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)» (In Russ.).
- [22]. O.G. Berestneva, Ye.A. Muratova, & A.M. Urazayev Komp'yuternyy analiz dannykh: Uchebnoye posobiye (Computer data analysis: A tutorial). (2003) Tomsk: Izd-vo TPU (In Russ.).
- [23]. N.A. Plokhinsky. Biometrics. Moscow State University Publishing House, 2nd edition, 1970. 367 p. (In Russ.).
- [24]. S.V. Korneev. Evaluation of changes in the characteristics of oxidized engine oil with different diesel fuel content on a Fourier infrared spectrometer. *AIP Conference Proceedings* 2784 (2023) 020005. <https://doi.org/10.1063/5.0140702>.
- [25]. B.E. Abduganov, M.E. Imomova, A.Kh. Turdiboev. Special methods for studying the chemical composition of motor oils. *Universum: Chemistry and Biology* 12 (2025) (In Russ.). Available online: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/12643>.
- [26]. A.Al Sheikh Omar, F. Motamen Salehi, U. Farooq, A. Morina, A. Neville, et al. Chemical and physical assessment of engine oils degradation and additive depletion by soot. *Tribology International* 160 (2021) 107054. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107054>.
- [27]. A.R. Rakitin, G.S. Bozhenkova, S.A. Kiselev, E. Stevanovich, A.A. Kil'mamatov, et al. Infrared spectroscopy for monitoring the quality of corrosion inhibitors. *Oilfield Engineering* 11 (2022) 69-76. [https://doi.org/10.33285/0207-2351-2022-11\(647\)-69-76](https://doi.org/10.33285/0207-2351-2022-11(647)-69-76).
- [28]. A. Wolak, W. Krasodonski, G. Zajac. FTIR analysis and monitoring of used synthetic oils operated under similar driving conditions. *Friction* 8 (2020) 995-1006. <https://doi.org/10.1007/s40544-019-0344-9>.
- [29]. A. Wolak, W. Krasodonski, Reducing Oil Waste Through Condition-Based Maintenance: A Diagnostic Study Using FTIR and Viscosity Monitoring. *Sustainability* 17 (2025) 8214. <https://doi.org/10.3390/su17188214>.
- [30]. L. Srata, S. Farres, F. Fethi. Engine oil authentication using near infrared spectroscopy and chemometrics methods. *Vibrational Spectroscopy* 100 (2019) 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2018.10.002>.
- [31]. A. Hirri, S. Tagourmate, A. Benamar, F. Kzaiber, A. Oussama, et al. Prediction of kinematic viscosity in motor oil using FTIR coupled with partial least squares regression. *International Journal of Chemical, Material and Environmental Research* 4 (2017) 102-107.
- [32]. J. Santos, I. Santos, A. Souza. Thermal degradation process of synthetic lubricating oils: Part I-Spectroscopic study. *Petroleum Science and Technology* 33 (2015) 1-10. <https://doi.org/10.1080/10916466.2015.1047031>.
- [33]. H. Chen, R. Qin, D. Lau. Recycling used engine oil in concrete design mix: An ecofriendly and

- feasible solution. *Journal of Cleaner Production* 329 (2021) 129555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129555>.
- [34]. S. Kurre, S. Pandey, N. Khatri, S. Bhurat, S.K. Kumawat, et al. Study of lubricating oil degradation of CI engine fueled with diesel-ethanol blend. *Tribology in Industry* 43 (2021) 222-231. <https://doi.org/10.24874/ti.913.06.20.11>.
- [35]. M. Sejkorová, I. Hurtová, P. Jilek, M. Novák, O. Voltr. et al. Study of the Effect of Physicochemical Degradation and Contamination of Motor Oils on Their Lubricity. *Coatings* 11 (2021) 60. <https://doi.org/10.3390/coatings11010060>.
- [36]. A. Bufares, A. Abdalla, G. Hashem, M. Melad, E. Elabeedy, et al. Physical and chemical properties of virgin and used engine oils. *International Science and Technology Journal* 32 (2023) 25.
- [37]. D. Ljubas, H. Krpan, I. Matanović. Influence of engine oils dilution by fuels on their viscosity, flash point, and fire point. *Nafta* 61 (2010) 73-79.
- [38]. H. Kaleli, I. Yavasliol. Oil ageing - drain period in a petrol engine. *Industrial Lubrication and Tribology* 49 (1997) 120-126. <https://doi.org/10.1108/00368799710165747>.
- [39]. D. Hameed. Deterioration in physical engine oil properties after different trip length. *Kurdistan Journal of Applied Research* 6 (2021) 13-20. <https://doi.org/10.24017/science.2021.1.2>.
- [40]. D. Hameed. Effects of vehicle mileage rate on engine oil properties. *Passer Journal of Basic and Applied Sciences* 5 (2023) 59-64. <https://doi.org/10.24271/PSR.2023.376018.1191>.
- [41]. S. Ooi, P. Yan, R. Vegter. Black oxide coating and its effectiveness on prevention of hydrogen uptake. *Materials Science and Technology* 35 (2018) 1-14. <https://doi.org/10.1080/02670836.2018.1530425>.
- [42]. W. Krasodomski, A. Skibińska, M. Żółty. Thermal oxidation stability of lubricating greases. *Advances in Science and Technology Research Journal* 14 (2020) 75-82. <https://doi.org/10.12913/22998624/122569>.
- [43]. W. Gołębiowski, G. Zajac, B. Šarkan. Evaluation of the impact of tractor field works on changes in selected elements of engine oils. *Agricultural Engineering* 26 (2022) 1-12. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2022-0001>.
- [44]. CIMAC. Guidelines for the lubrication of medium speed diesel engines (CIMAC Recommendation No.30 (2010). Available online: https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_30.pdf.
- [45]. B. Rahimi, A. Semnani, A. Nezamzadeh-Ejhieh, H. Shakoori Langeroodi, M. Hakim Davood, et al. Monitoring of the physical and chemical properties of a gasoline engine oil during its usage. *Journal of Analytical Methods in Chemistry* (2012) 819524. <https://doi.org/10.1155/2012/819524>.
- [46]. A. Al-Sheikh Omar, C. Sirisinha, K. Petcharoen, K. Sriprapha. Effect of water contamination on the tribological behavior of lubricants. *Tribology Letters* 72 (2024) 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11249-024-01876-y>.
- [47]. E.J. Ekanem, J.A. Lori, S.A. Thomas. The determination of wear metals in used lubricating oils by flame atomic absorption spectrometry using sulphanilic acid as ashing agent. *Talanta* 44 (1997) 2103-2108. [https://doi.org/10.1016/s0039-9140\(97\)00086-6](https://doi.org/10.1016/s0039-9140(97)00086-6).
- [48]. N.S. Mdluli, P.N. Nomngongo, N. Mketi. A Critical Review on Application of Extraction Methods Prior to Spectrometric Determination of Trace-Metals in Oily Matrices. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 52 (2022) 1-18. <https://doi.org/10.1080/010408347.2020.1781591>.
- [49]. R. Smigins, K. Amatnieks, A. Birkavs, K. Górski, S. Kryštopta, et al. Studies on Engine Oil Degradation Characteristics in a Field Test with Passenger Cars. *Energies* 16 (2023). 7955. <https://doi.org/10.3390/en16247955>.
- [50]. A.V. Zmozinski, A.de Jesus, M.G. Vale, M.M. Silva. Determination of calcium, magnesium and zinc in lubricating oils by flame atomic absorption spectrometry using a three-component solution. *Talanta* 83 (2010) 637-643. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.10.013>.
- [51]. A.Al Sheikh Omar, F. Motamen Salehi, U. Farooq, A. Neville, A. Morina, et al. Effect of zinc dialkyl dithiophosphate replenishment on tribological performance of heavy-duty diesel engine oil. *Tribology Letters* 70 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11249-022-01565-8>.
- [52]. D. Adebimpe Adesina, O. Samuel Sojinu, R. Kehinde Balogun, E. John Fadumiye, A. Basit Quadri, et al. A Comparative Study of Selected Fresh and Used Motor Oil Brands in Nigeria (2025). Available online: <http://www.unn.edu.ng/nigerian-research-journal-of-chemical-sciences/>.
- [53]. R. Niculescu, M. Nastase, D. Negrea, C.V. Zaharia, A. Clenci, et al. Analysis of metal content in the lubricating oils used in truck diesel engines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1303 (2024) 012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1303/1/012021>.
- [54]. U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). Managing, reusing, and recycling used oil (2025). Available online: <https://www.epa.gov/recycle/>

managing-reusing-and-recycling-used-oil.

- [55]. R. Mehmood, F.M. Jakarni, R. Muniandy, S. Hassim, N.N. Nik Daud, et al. Waste engine oil as a sustainable approach for asphalt rejuvenation and modification: A review. *Heliyon* 10 (2024) e40737. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40737>.
- [56]. S. Younis, A. Nassar, A. Ahmad, K. Abdelbary. Chemical analysis of engine oils as an indicator to estimate the rate of wear. *Egyptian Journal of Chemistry* 61 (2018) 3412-1289. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2018.3412.1289>.
- [57]. R. Grimmig, S. Lindner, P. Gillemot, M. Winkler, S. Witzleben et al. Analyses of used engine oils via atomic spectroscopy - Influence of sample pre-treatment and machine learning for engine type classification and lifetime assessment. *Talanta* 232 (2021) 122431. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122431>.
- [58]. R. Nguele, H.S. Al-Salim, K. Mohammad. Modeling and forecasting of depletion of additives in car engine oils using attenuated total reflectance fast transform infrared spectroscopy. *Lubricants* 2 (2014) 206-222. <https://doi.org/10.3390/lubricants2040206>.

About the Authors

A.N. Sabitova – Associate Professor, PhD, Head of the Department of Chemistry and Ecology, Shakarim University, Semey, Kazakhstan
E-mail: alfa-1983@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3360-7998>

Zh.Sh. Sharipkhan – 1st-year PhD student, Shakarim University, Semey, Kazakhstan
E-mail: j.shariphan@shakarim.kz
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2484-7287>

N.Zh. Mukhamediyarov – 2nd-year PhD student, Shakarim University, Semey, Kazakhstan
E-mail: nurlan.eventumlab@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5073-5978>

A.E. Temirzhanova – 3rd-year PhD student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
E-mail: arayt1010@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2820-2731>

E.P. Evlampieva – Candidate of Bio.Sci., Senior Lecturer of the Department of Chemistry and Ecology, Shakarim University, Semey, Kazakhstan
E-mail: elena_semei@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1953-3686>

Physicochemical Characteristics of used Motor Oils and their Resource Potential

A.N. Sabitova¹, Zh.Sh. Sharipkhan^{1*}, N.Zh. Mukhamediyarov¹, A.E. Temirzhanova², E.P. Evlampieva¹

¹Shakarim University, Glinka Str., 20A, Semey, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi Ave., 71, Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

In the context of the increasing generation of waste motor oils and the limited possibilities for their safe disposal, evaluating their resource potential and identifying possible reuse pathways is an important scientific and practical task. This study aims to investigate the physicochemical properties of waste motor oils of different origins, including bus, automobile, and tractor oils, after operation and preliminary purification by simple filtration, in order to assess their potential use as secondary raw materials.

A set of analytical methods was applied, including thermal analysis, FTIR spectroscopy, rheological testing, and elemental composition determination. The results showed that the waste oils had lower flash and ignition temperatures, indicating a decrease in thermal stability after use. The viscosity of the samples at 40 °C varied depending on their origin. Tractor oil showed lower viscosity values, which may be related to dilution with impurities, while automobile oil demonstrated increased viscosity due to the accumulation of oxidation and polymerization products.

FTIR spectroscopy confirmed the presence of carbonyl compounds, indicating oxidative degradation processes, which were most pronounced in the automobile oil sample. Elemental analysis revealed elevated concentrations of Fe, Cu, Pb, and Zn, mainly associated with engine wear and contamination during operation.

Although the studied waste motor oils are unsuitable for direct reuse as lubricants, they retain significant resource potential. Due to the presence of heavy hydrocarbon fractions and oxidation products, they can be considered secondary raw materials for road construction, bitumen modification, and composite material production, supporting environmental impact reduction and circular economy principles.

Keywords: used motor oils, physicochemical properties, IR spectroscopy, viscosity, elemental composition, secondary raw materials, road materials

Қолданылған мотор майларының физика-химиялық сипаттамалары және олардың ресурстық әлеуеті

А.Н. Сабитова¹, Ж.Ш. Шәріпхан^{1*}, Н.Ж. Мухамедияров¹, А.Е. Темиржанова², Е.П. Евлампиева¹

¹Шәкәрім университеті, Глинки к., 20а, Семей, Қазақстан

²Әл-Фараби ат. Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даң., 71, Алматы, Қазақстан

АҢДАТПА

Пайдаланылған мотор майларының түзілу көлемінің артуы және оларды қауіпсіз кәдеге жарату мүмкіндіктерінің шектеулі болуы жағдайында олардың ресурстық әлеуетін бағалау және қайта пайдалану бағыттарын іздеу өзекті ғылыми-практикалық міндет болып табылады. Зерттеудің мақсаты – әртүрлі шығу тегі бар пайдаланылған мотор майларының, атап айтқанда автобус, автомобиль және трактор майларының, пайдалану мерзімінен кейінгі және қарапайым сүзу әдісімен алдын ала тазартылғаннан кейінгі физика-химиялық қасиеттерін зерттеу, сондай-ақ оларды екіншілік шикізат ретінде қолдану мүмкіндіктерін негіздеу.

Жұмыста термиялық талдау, ИҚ-спектроскопия, реологиялық сынақтар және элементтік құрамды анықтау әдістерін қамтитын кешенді зерттеу тәсілдері қолданылды. Пайдаланылған майлардың тұтану және жану температураларының төмендеуімен сипатталатыны анықталды, бұл олардың термиялық тұрақтылығының төмендегенін көрсетеді. 40 °C температурадағы үлгілердің тұтқырлығы әртүрлі мәндер көрсетті: трактор майында қоспалармен сұйылу салдарынан төмен мәндер байқалса, автомобиль майында тотығу және полимерлену өнімдерінің жиналуына байланысты тұтқырлықтың жоғарылауы анықталды.

ИҚ-спектроскопия деректері бойынша карбонилді қосылыстардың болуы анықталып, бұл тотығу процестерінің дамуын растайды. Бұл үдерістер автомобиль майы үлгісінде айқын байқалды. Элементтік талдау Fe, Cu, Pb және Zn концентрацияларының жоғарылағанын көрсетті, бұл қозғалтқыш бөлшектерінің тозуымен және ластаушы қоспалардың түсуімен байланысты. Зерттеу нәтижесінде пайдаланылған мотор майларының тікелей мақсаты бойынша қайта қолдануға жарамдылығы шектеулі болғанымен, олардың құрамындағы ауыр көмірсутекті фракциялар мен тотығу өнімдері есебінен айтарлықтай ресурстық әлеуетке ие екендігі анықталды. Сондықтан оларды жол-құрылыс және құрылыс материалдары өндірісінде, соның ішінде битумдарды модификациялау және композициялық материалдар алу үшін екіншілік шикізат ретінде қарастыруға болады. Бұл экологиялық жүктемені төмендетуге және циркулярлық экономика қағидаттарын жүзеге асыруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: пайдаланылған мотор майлары, физикалық-химиялық қасиеттері, ИҚ-спектроскопия, тұтқырлық, элементтік құрамы, екінші реттік шикізат, жол материалдары