

АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

На правах рукописи

**СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ (C₃–C₁₀) ДИКАРБОНОВЫХ
КИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ И КОМПОНЕНТА
СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА**

Специальность: 3303.01 – Химическая технология и инженерия

Отрасль науки: Химия

Соискатель: **Исрафилова Кямаля Орудж гызы**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии

Баку – 2025

Диссертационная работа выполнена в лаборатории «Синтетические масла» Института Нефтехимических Процессов имени академика Ю.Г. Мамедалиева Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики

Научный руководитель: доктор химических наук, доцент
Алиева Фатмаханым Хейбар гызы

Научный консультант: доктор химических наук, академик
Мамедъяров Магеррам Али оглы

Официальные оппоненты: доктор химических наук, член-корр.
НАНА

Мамедов Бахтияр Аждар оглы
доктор химических наук, профессор

Расулов Чингиз Князь оглы
доктор химических наук, доцент
Мамедова Афяят Халил гызы

Разовый диссертационный совет с регистрационным номером BFD 1.16/1, созданный на базе диссертационного совета ED 1.16 Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики, действующей на базе Института Нефтехимических Процессов имени академика Ю.Г. Мамедалиева Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики

Председатель
диссертационного совета: доктор химических наук, академик
Аббасов Вагиф Магеррам оглы

Ученый секретарь
диссертационного совета: доктор химических наук, доцент
Эфендиева Лала Магомед гызы

Председатель научного
семинара: доктор химических наук,
член-корреспондент НАНА
Мустафаев Ислам Ибрафил оглы

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы. В связи с развитием техники ужесточаются требования к смазочным маслам. С целью обеспечения соответствия качеств масел и топлив требованиям современной и перспективной техники проводятся масштабные научные исследования. Требуемые смазочные материалы должны обладать высокой термической и термоокислительной стабильностью, высоким индексом вязкости и температурой воспламенения, хорошими низкотемпературными свойствами¹.

В настоящее время около 90% используемых масел приходится на долю минеральных масел. Работоспособность и свойства минеральных масел в большей мере зависят от условий температуры: при высоких температурах масла начинают выгорать, а при низких – резко увеличивается вязкость и это негативно отражается на работе механизмов. Минеральные масла содержат очень много посторонних соединений, и такая неоднородность приводит к снижению их устойчивости к кристаллизации и разжижению. Также минеральные масла в процессе эксплуатации приводят к образованию отложений, что значительно снижает производительность двигателя и сокращает его срок службы.

Поскольку нефтяные масла не отвечают указанным требованиям, создание и использование синтетических масел с различным химическим строением является актуальным.

К числу перспективных химических соединений, применяемых в качестве смазочных масел, относятся сложные эфиры дикарбоновых кислот. Они используются как в качестве основы, так и компонента смазочных материалов².

¹Мамедъяров, М.А. Синтетические смазочные масла (структура и свойства) / М.А. Мамедъяров, Ф.Х. Алиева, Г.Н. Гурбанов, – Москва: Научный мир, – 2017, – 336 с.

²Gryglewicz, S., Oko F.A. Dicarboxylic acid esters as components of modern synthetic oils // Industrial Lubrication and Tribology, – 2005, Vol. 57, Issue 3, – p.128-132.

Сложные эфиры дикарбоновых кислот хорошо растворимы в минеральных маслах и имеют по сравнению с ними ряд преимуществ, что обусловлено наличием в их молекуле полярных эфирных групп.

К таким преимуществам относятся: высокие вязкостно-температурные (особенно при низких температурах) и смазочные свойства, высокая термоокислительная стабильность, низкая температура застывания и высокая биоразлагаемость, что в настоящее время имеет большое экологическое значение.

В связи с тем, что синтетические масла значительно превосходят минеральные по качеству и тем самым продлевают срок эксплуатации машин и механизмов, расширяются области их применения (приборные, компрессорные, моторные, трансмиссионные, специальные масла и т.д.) на основе сложных эфиров дикарбоновых кислот, а также увеличивается спрос на них.

Эфирные соединения также используются в качестве присадок к топливу, что позволяет уменьшить количество осадка, образующегося при окислении и улучшить качество топлива. С другой стороны, сложные эфиры дикарбоновых кислот играют важную роль в качестве пластификаторов в полимерных материалах.

Однако ныне используемые синтетические эфирные масла не отвечают некоторым требованиям современной техники. Например, данный вид масел хуже растворяет добавки, в отличие от минеральных масел.

С другой стороны, для производства синтетического базового масла требуется ряд различных процессов выработки, что обуславливает его крайне высокую стоимость по сравнению с минеральными.

В связи с вышеперечисленным, синтез новых типов эфиров, создание смазочных масел на их основе и исследование в качестве компонента топлив и минеральных масел является актуальной и востребованной задачей.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются моно-, симметричные, несимметричные и

комплексные эфиры, синтезированные на основе дикарбоновых кислот (малоновой, янтарной, адипиновой, себаценовой) и спиртов различного строения (алифатических, циклических, ароматических).

Предмет исследования включает изучение возможности применения синтезированных эфиров в качестве основы и компонентов смазочных масел, присадок к дизельным топливам и полимерам, ингибиторов коррозии в консервационных жидкостях, а также бактерицид-ингибиторов.

Цель и задачи диссертационной работы. Целью исследовательской работы является синтез и изучение физико-химических, вязкостно-температурных, а также эксплуатационных характеристик сложных эфиров (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот различной структуры, приготовление и исследование свойств композиций, полученных путем добавления этих эфиров к топливам и минеральным маслам, разработка технологии получения эфира и оптимизация процесса этерификации. Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- синтез и идентификация моно-, симметричных, несимметричных и комплексных эфиров (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот;
- изучение физико-химических и вязкостно-температурных свойств полученных соединений;
- изучение удельной электропроводности синтезированных эфиров в зависимости от их химического строения;
- исследование термостабильности синтезированных сложных эфиров дикарбоновых кислот;
- изучение бактерицидных свойств синтезированных сложных эфиров;
- создание и исследование свойств композиций на базе минеральных масел и синтезированных эфиров;
- приготовление 3 и 10%-ных композиций на основе синтезированных эфиров с минеральным маслом Т-30 и их исследование в качестве компонента консервационных жидкостей;

- использование синтезированных симметричных и несимметричных диэфиров в качестве пластификаторов в различных полимерных матрицах и изучение пластифицирующих свойств полученных полимерных материалов;
- исследование сложных эфиров дикарбоновых кислот в качестве антиокислительных присадок к гидроочищенному дизельному топливу;
- расчетно-экспериментальный способ подбора оптимальной вязкостно-температурной характеристики композиций смазочного масла на основе синтезированных эфиров и минерального масла Т-46;
- нахождение оптимальных условий процесса этерификации янтарной кислоты методом компьютерного моделирования;
- разработка технологической схемы получения сложного эфира (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот.

Методы исследования. Процесс этерификации осуществлялся в лабораторных условиях в присутствии кислотных гетерогенных катализаторов. Структуры синтезированных эфиров были идентифицированы методами ИК- и ЯМР-спектроскопии.

Кинематическую вязкость эфиров определяли методом измерения времени истечения определенного объема образца через калиброванный стеклянный капиллярный вискозиметр. Динамическую вязкость исследовали с помощью ротационного вискозиметра (на аппарате “*Reotest-2*”) при скоростях вращения 9 – 243 об/мин.

Полученные эфиры были исследованы как компоненты консервационных жидкостей в различных агрессивных средах (автоматически управляемой экспериментальной камере “*CORROSIONBOX-1000E*”, гидрокамере «Г-4», морской воде и 0.001%-ном растворе серной кислоты), в качестве антиоксидантов для дизельного топлива в аппарате «ЛСАРТ», как бактерицид-ингибиторы по отношению к сульфатвосстанавливающим бактериям с применением штамма

1143 вида *Desulfovibrio desulfuricans* в присутствии питательной среды «Postgate B», в качестве пластификаторов путем их смешивания с различными полимерными матрицами с использованием смесительного вальца, прессования и определения прочностных свойств соответствующих образцов с помощью разрывной машины.

Термогравиметрический анализ образцов проводили на синхронном термоанализаторе TQ/DTA STA-449.

Основные положения, выносимые на защиту:

- синтезированы диэфиры (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот различной структуры и исследованы в качестве основы смазочных масел;
- моно- и диэфиры (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот изучены как компоненты консервационных жидкостей;
- установлена зависимость между строением симметричных, несимметричных и комплексных эфиров (C_3-C_{10}) двухосновных кислот и их вязкостно-температурными свойствами;
- синтезированные эфиры исследованы в качестве антиокислительных присадок к гидроочищенному дизельному топливу;
- изучены бактерицидные свойства сложных эфиров (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот;
- синтезированные эфиры (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот исследованы в качестве пластификаторов для различных полимерных матриц;
- разработана технологическая схема получения сложных эфиров (C_3-C_{10}) двухосновных кислот.

Научная новизна результатов проведенного исследования заключается в следующем:

- синтезированы симметричные, несимметричные и комплексные эфиры (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот в присутствии катализаторов КУ-2-8 и Цеокар-2, и выявлена корреляционная зависимость между их химической структурой и эксплуатационными свойствами;

- на основе моно- и диэфиров (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот и минерального масла Т-30 приготовлены 3 и 10%-ные композиции, которые при исследовании в качестве компонентов консервационных жидкостей продемонстрировали высокие антикоррозионные свойства;
- синтезированные эфиры (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот впервые испытаны в качестве антиокислительных присадок к гидроочищенному дизельному топливу и проявили высокие антиокислительные свойства;
- моно-, ди- и комплексные эфиры (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот впервые изучены как бактерицид-ингибиторы в отношении сульфатвосстанавливающих бактерий, выявлены их высокие бактерицидные свойства;
- симметричные и несимметричные эфиры (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот исследованы в качестве пластификаторов для полипропилена, поливинилхлорида и полиэтилена высокой плотности, обнаружены их хорошие пластифицирующие свойства.

Результаты диссертационной работы подтверждены 3 патентами Азербайджанской Республики и 2 актами испытаний.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

- эфиры (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот могут быть применены в качестве основы приборных, гидравлических и индустриальных масел;
- на основе моноэфиров и минерального турбинного масла Т-30 были приготовлены 3 и 10%-ные смазочные композиции, которые демонстрируют высокий антикоррозионный эффект и рекомендованы в качестве консервационных жидкостей;
- ввиду высокой антиокислительной способности несимметричные сложные эфиры малоновой (бутил-гептил малонат, бутил-октил малонат), янтарной и адипиновой кислот (бутил-октил адипинат, гептил-октил адипинат, диэтиленгликоль дикапроат адипинат) были

рекомендованы в качестве присадок для улучшения антиокислительных свойств дизельного топлива;

- некоторые эфиры (диоктилмалонат, ди-4-метилциклогексиладипинат и ди-4-метилциклогексилсебацинат), обладая хорошими пластифицирующими свойствами, рекомендованы в качестве пластификаторов для ПВХ и ПП;
- впервые установлено, что симметричные эфиры малоновой кислоты, некоторые моноэфиры янтарной и адипиновой кислот, а также сложные эфиры себациновой кислоты при достаточно низких концентрациях обладают высоким защитным эффектом и рекомендованы в качестве бактерицид-ингибиторов против сульфат-восстанавливающих бактерий.

Личный вклад автора заключается в выполнении экспериментальных работ, сборе и анализе литературных данных. Систематизация, интерпретация и обобщение результатов исследования проводились при участии автора.

Апробация и внедрение. По теме диссертации опубликовано 28 научных трудов, включая 12 статей (в том числе 6 зарубежных), 13 тезисов докладов международных и республиканских научных конференций и 3 патента Азербайджана.

Основные результаты диссертационного исследования были представлены и обсуждены в виде устных и стендовых докладов на Международных и Республиканских научных конференциях: Международная научная конференция «Актуальные проблемы современной химии», посвященная 90-летию Института нефтехимических процессов имени Ю.Г. Мамедалиева (Баку, 2019); 32. Ulusal Kimya Kongresi (Турция, 2020); “Müasir kimyanın problemləri və inkişaf tendensiyaları” mövzusunda respublika elmi-praktik konfransı (Баку, 2020); Usbik 2021 Online International Congress on Natural Sciences (Турция, 2021); 6th International Turkic World Conference on Chemical Sciences and Technologies (Баку, 2022); Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых

“Ломоносов” (Баку, 2023); Akademik Sahib Müseyib oğlu Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş “Neft kimyası, polifunksional monomerlər, oliqomerlər və polimerlərin sintezi” konfransı (Баку, 2023); Akademik Məhərrəm Əli oğlu Məmmədیارovun 100 illik yubileyinə həsr olunmuş “Neft kimyasının və yağların texnologiyasının müasir problemləri” beynəlxalq elmi konfransı (Баку, 2024); Международная научная конференция «Мономеры и современные проблемы нефтехимии», посвященная 110-летию академика Солтана Джафар оглы Мехтиева (Баку, 2024).

Название организации, в которой выполнялась диссертационная работа. Диссертационная работа выполнена в лаборатории «Синтетические масла» Института Нефтехимических Процессов имени академика Ю.Г. Мамедалиева Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики.

Структура и объем диссертации. Диссертация объемом 200 страниц состоит из введения (12701 знаков), 4 глав (глава I – 52427, глава II – 35973, глава III – 44901, глава IV – 22925 знаков без пробелов), выводов (3304 знаков), а также из списка литературы, содержащего 198 ссылок, приложений и описания сокращений. Диссертация включает 36 рисунков, 45 таблиц и 1 схему. Общий объем диссертации составляет 172231 знаков (без пробелов) не считая таблиц, рисунков, графиков, приложений и списка использованной литературы.

Во введении показана актуальность и степень разработанности научного исследования, цели и задачи работы, объект и предмет исследования, научная новизна, апробация работы, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе описан анализ обзора смазочных материалов на основе эфиров дикарбоновых кислот и рассмотрены области их применения.

Во второй главе представлен синтез, методы идентификации, физико-химические показатели и анализ данных по измерению удельной электропроводимости эфиров (C₃–C₁₀) дикарбоновых кислот в зависимости от их строения. Решена задача оптимизации процесса этерификации.

В третьей главе исследованы вязкостно-температурные, эксплуатационные характеристики эфиров (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот и изучена зависимость этих свойств от химической структуры эфиров. Приведены данные по оптимизации вязкостно-температурных характеристик композиций, приготовленных на основе диэфиров янтарной и адипиновой кислот с минеральным маслом Т-46. Разработана технологическая схема получения сложных эфиров (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот (на примере несимметричного эфира малоновой кислоты). Также проведена технико-экономическая оценка синтеза дибутилового эфира малоновой кислоты.

В четвертой главе показаны области применения синтезированных соединений и отображены результаты исследований антиокислительных, антикоррозионных, бактерицидных и пластифицирующих свойств эфиров.

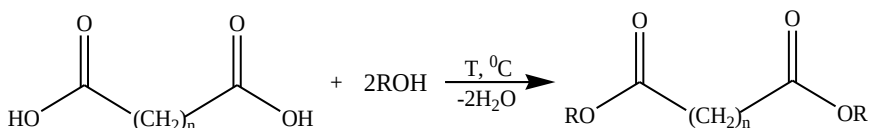
В конце научной диссертации представлены выводы, список литературы, приложения и список сокращений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В настоящей диссертационной работе проведён синтез эфиров (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот различной структуры, изучены их физико-химические, вязкостно-температурные, эксплуатационные, а также бактерицидные и пластифицирующие характеристики. Структуры синтезированных соединений подтверждены методами ИК- и ЯМР-спектроскопии. На основе полученных эфиров и минеральных масел марок Т-30, Т-46 и АК-15 приготовлены различные композиции, исследованы их антикоррозионные, антиокислительные и смазывающие свойства.

Эфиры (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот: синтез и методы идентификации

Синтез *симметричных эфиров* осуществляли при соотношении кислота: спирт = 1:2 и 1:3 с использованием 1.5% катализатора (Цеокар-2, КУ-2-8) в среде *n*-ксилола. Общая схема процесса этерификации выглядит следующим образом:



где $n = 1, 2, 4, 8$; $\text{R} = \text{C}_4\text{H}_9$; $i\text{-C}_4\text{H}_9$; $i\text{-C}_5\text{H}_{11}$; C_7H_{15} ; C_8H_{17} ; C_9H_{19} ; $\text{C}_{10}\text{H}_{21}$; $\text{CH}_3\text{-C}_6\text{H}_{10}$; $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_2$

Конец этерификации определяли по кислотному числу и количеству выделенной воды. По завершении процесса эфиры перегоняли под вакуумом (2 – 3 мм рт. ст.). Идентификацию полученных продуктов проводили с использованием методов ИК- и ЯМР-спектроскопии. Спектры синтезированных симметричных эфиров представлены на рис. 1, 2.

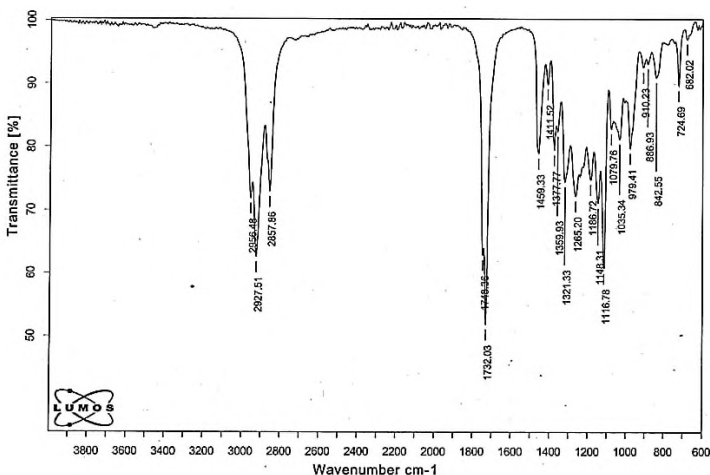


Рис. 1. ИК-спектр диоктилмалоната

В спектре наблюдаются полосы поглощения, характерные для деформационных (724, 1377, 1411, 1459 см^{-1}) и валентных (2857, 2927, 2956 см^{-1}) колебаний C-H связи CH_3 и CH_2 групп. Валентные колебания C-O связи сложного эфира проявляются при частотах 1116 и 1148 см^{-1} . Максимумы при 1732 и 1748 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям C=O связи сложного эфира.

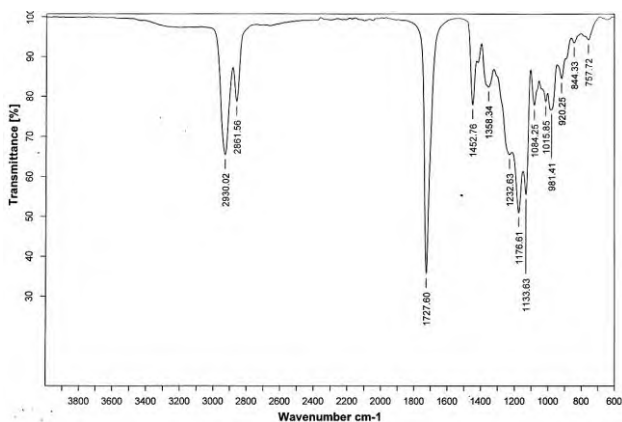
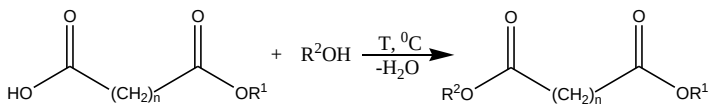
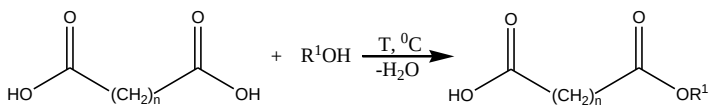


Рис. 2. ИК-спектр ди(4-метилциклогексил)адипината

На ИК-спектре небольшие по интенсивности полосы поглощения деформационных и валентных колебаний C–H связи CH₃ и CH₂ групп проявляются при 1358, 1452 см⁻¹ и 2861, 2930 см⁻¹ соответственно. Пик при 981 см⁻¹ соответствует деформационным колебаниям C–H связи CH₂ групп в цикле. Пики с частотами 1133 и 1176 см⁻¹, характерны для валентных колебаний C–O связи сложного эфира. Интенсивная полоса поглощения C=O связи сложного эфира обнаружена при частоте 1727 см⁻¹.

Несимметричные эфиры синтезировали поэтапно: сначала при соотношении кислота: спирт = 1:1 получали моноэфир, который затем этерифицировался другим спиртом (1:1) в присутствии катализатора КУ-2-8. Общая схема реакции, следующая:



где $n = 1, 2, 4, 8$; $\text{R}^1 = \text{C}_4\text{H}_9; \text{C}_7\text{H}_{15}; \text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_{10}; \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2$
 $\text{R}^2 = i\text{-C}_4\text{H}_9; \text{C}_7\text{H}_{15}; \text{C}_8\text{H}_{17}; \text{C}_{10}\text{H}_{21}$

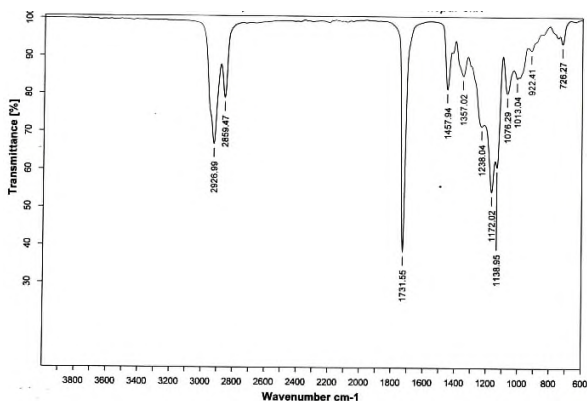


Рис. 3. ИК-спектр 4-метилциклогексил-гептил адипината

В спектре видны деформационные (1357 , 1457 см^{-1}) и валентные (2859 , 2926 см^{-1}) колебания С–Н связи CH_3 и CH_2 групп. Полоса поглощения при 1731 см^{-1} соответствует валентным колебаниям $\text{C}=\text{O}$ связи сложного эфира. Валентные колебания С–О связи сложного эфира проявляются при частотах 1138 и 1172 см^{-1} .

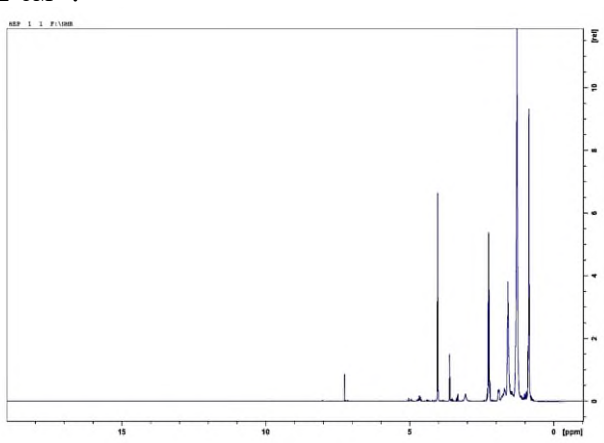


Рис. 4. ЯМР¹H-спектр 4-метилциклогексил-гептил себацината

В ЯМР¹H спектре видны следующие сигналы м.д.: $0.83\text{--}0.92$ (м., CH_3), $1.18\text{--}1.33$ (м., CH_2), $1.55\text{--}1.64$ (м., CH_2), $1.68\text{--}1.74$ (м., CH), $1.88\text{--}1.98$ (м., CH_2), $2.21\text{--}2.32$ (м., $\text{CH}_2\text{--C=O}$), $3.56\text{--}3.65$ (м., OCH), 4.03 (т., OCH_2).

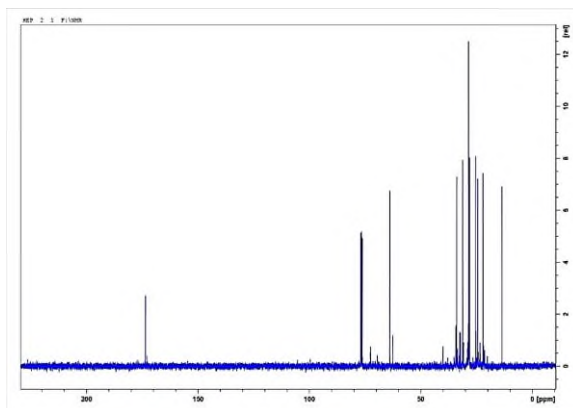
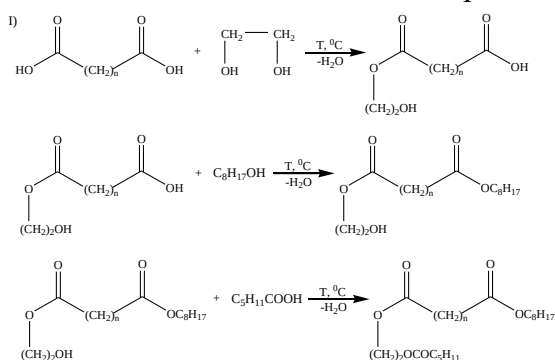


Рис.5. ЯМР¹³С-спектр 4-метилциклогексил-гептилсебацната

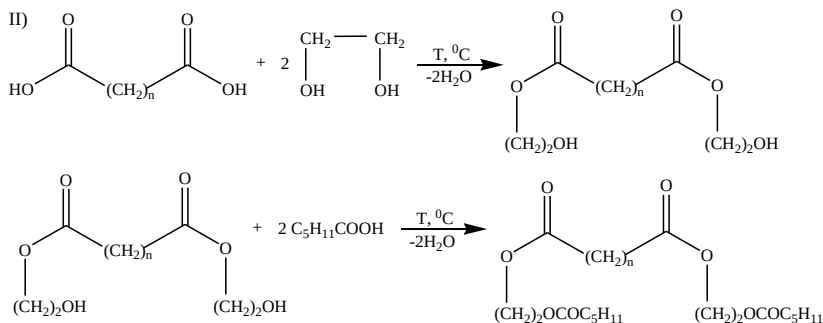
В ЯМР¹³С спектре (Bruker Avance 400, CDCl₃) наблюдаются следующие сигналы, м.д.: 13.63 (CH₃), 22.14, 25.45, 28.20, 28.48, 28.64, 31.29 (CH₂), 32.10 (CH), 33.92 (CH₂), 62.54 (ОСН), 63.98 (ОСН₂), 173.56 (C=O)

Синтез *комплексных эфиров* с 3 и 4 эфирными группами проводили поэтапно. Для получения эфиров с 3 эфирными группами (I) на первом этапе при соотношении кислота:этиленгликоль, равном 1:1 синтезировали моноэфир, который затем этерифицировали октанол-1 (1:1) в присутствии катализатора КУ-2-8. На заключительной стадии полученный несимметричный сложный эфир подвергали этерификации капроновой кислотой. Общая схема синтеза приведена ниже:



где n = 2, 4, 8

Для синтеза эфиров с 4 эфирными группами (II) на первом этапе при соотношении кислота: этиленгликоль = 1:2 получали дигликолевый эфир, который затем этерифицировали капроновой кислотой. Общая схема этерификации приведена ниже:



где $n = 2, 4, 8$

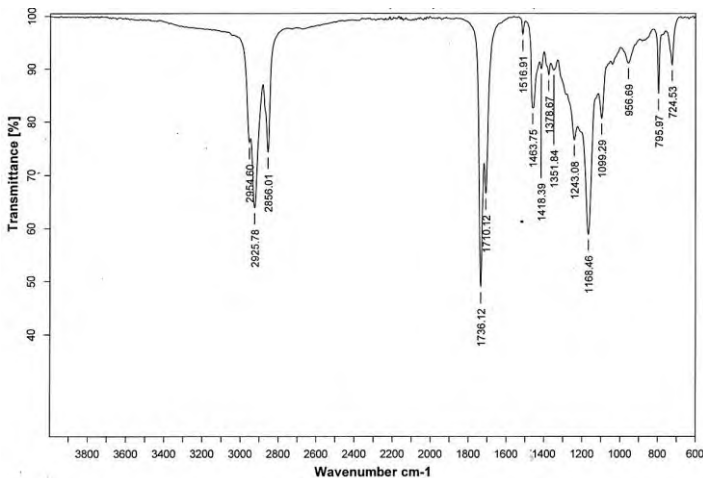


Рис. 6. ИК-спектр комплексного эфира себаценовой кислоты (эфир 36)

В ИК-спектре имеются полосы поглощения деформационных ($724, 1378, 1463 \text{ см}^{-1}$) и валентных колебаний ($2856, 2925, 2954 \text{ см}^{-1}$) С-Н связи CH_3 и CH_2 групп. Полосы поглощения при 1168 и 1736 см^{-1} присущи валентным колебаниям С-О и С=О связям сложного эфира соответственно.

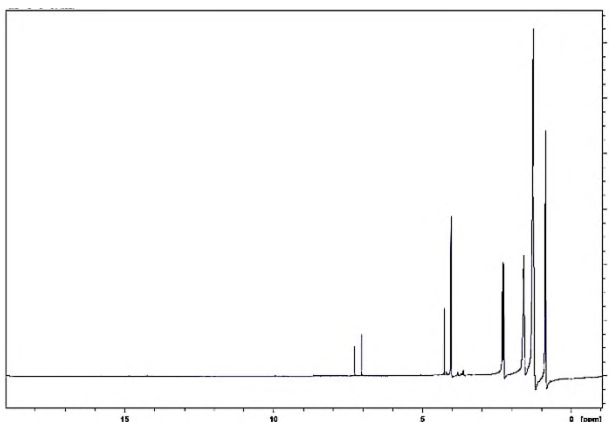


Рис. 7. ЯМР¹H-спектр комплексного эфира себаценовой кислоты (эфир 36)

В ЯМР¹H спектре выявлены следующие сигналы, м.д.: 0.84-0.93 (m., CH₃), 1.21-1.36 (m., CH₂), 1.56-1.60 (m., CH₂), 2.23-3.22 (m., CH₂-C=O), 4.04 (t., OCH₂), 4.26 (s., OCH₂).

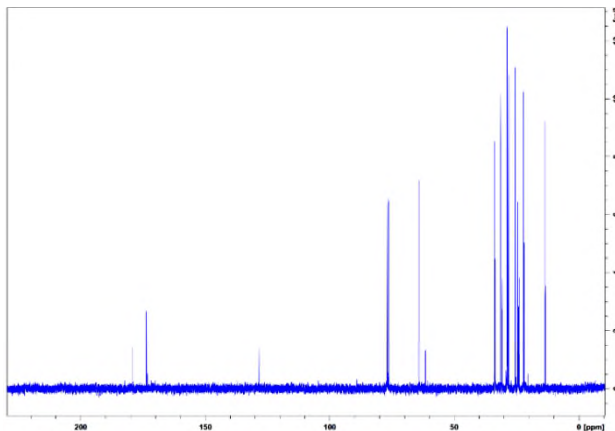


Рис. 8. ЯМР¹³C-спектр комплексного эфира себаценовой кислоты (эфир 36)

На ЯМР¹³C спектре комплексного эфира (Bruker Avance 400, CDCl₃) себаценовой кислоты видны следующие сигналы, м.д.: 13.65 (CH₃), 21.87, 22.21, 23.95, 24.53, 25.50, 28.20, 28.63, 30.78, 31.35, 33.57, 33.93 (CH₂), 61.59, 64.01 (OCH₂), 173.61, 179.21 (C=O).

Исследование вязкостно-температурных свойств сложных эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот

Изучение синтезированных эфиров в качестве смазочных материалов проводилось в два этапа: предварительном и углубленном. На предварительных испытаниях определялись зависимости кинематической вязкости от температуры при 40 и 100°C, температура застывания и температура вспышки в открытом тигле. Соединения, продемонстрировавшие удовлетворительные характеристики, подвергались более глубокому анализу, включающему оценку их смазывающих свойств и термоокислительной стабильности в объеме.

Вязкостно-температурные свойства симметричных эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот представлены в таблице 1.

Таблица 1

Вязкостно – температурные показатели симметричных эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот

№	Эфир	Кислот. число, мгКОН/г	Кинем. вязкость, мм ² /с		ИВ	Температура, °C	
			100°C	40°C		заст.	всп.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_4\text{H}_9 \end{array}$	1.28	1.13	2.30	96	-66	94
2	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \qquad \text{OC}_7\text{H}_{15} \end{array}$	1.31	1.91	4.75	100	-63	157
3	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_8\text{H}_{17} \qquad \text{OC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	1.60	2.02	5.84	158	-28	174
4	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_9\text{H}_{19} \qquad \text{OC}_9\text{H}_{19} \end{array}$	1.64	2.43	7.14	191	-17	180
5	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_{10}\text{H}_{21} \qquad \text{OC}_{10}\text{H}_{21} \end{array}$	0.11	2.64	7.69	214	-10	187
6	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \qquad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	2.12	1.52	3.47	92	-52	173
7	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \qquad \text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	1.24	1.45	3.27	87	-46	113
8	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_4\text{H}_9 \end{array}$	1.0	1.40	3.09	93	-41	144

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
9	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{O}_i\text{-C}_5\text{H}_{11} \quad \text{O}_i\text{-C}_5\text{H}_{11} \end{array}$	3.0	1.65	4.01	73	-60	127
10	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \quad \text{OC}_7\text{H}_{15} \end{array}$	2.0	2.13	5.55	250	-33	157
11	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_8\text{H}_{17} \quad \text{OC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	1.20	2.30	6.58	196	-24	168
12	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_9\text{H}_{19} \quad \text{OC}_9\text{H}_{19} \end{array}$	2.20	2.55	7.60	193	-12	182
13	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \quad \text{OC}_4\text{H}_9 \end{array}$	1.05	2.30	6.95	163	-36	112
14	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \quad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	1.10	4.72	26.28	95	-44	184
15	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_8-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \quad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	2.75	6.38	29.32	178	-28	195
РЖ-8		0.03	-	6-7.5	-	-10	120
AVISTA HYD HLP 10		-	2.7	9.7	98	-33	170

Согласно полученным данным, в симметричных эфирах, например, малоновой кислоты наблюдается увеличение кинематической вязкости, индекса вязкости (ИВ), а также температур застывания и вспышки с увеличением длины алифатического радикала. Например, при переходе от дибутилового эфира к дидециловому значение кинематической вязкости при 100°C возрастает с 1.13 до 2.64 мм²/с, а при 40°C – с 2.30 до 7.69 мм²/с. Индекс вязкости увеличивается с 96 до 214 пунктов, температура вспышки – с 94 до 187°C, а температура застывания – с -66 до -10°C.

В симметричных эфирах (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот с циклическим радикалом наблюдается закономерное увеличение индекса вязкости, температуры застывания и температуры вспышки по мере удлинения углеродной цепи кислоты. Так, сравнительный анализ вязкостно-температурных характеристик ди-4-метилциклогексиловых эфиров малоновой, адипиновой и себадиновой кислот показывает, что при переходе от малоновой

к себадиновой кислоте индекс вязкости увеличивается с 92 до 178, температура застывания – с -52 до -28°C, а температура вспышки – с 173 до 195°C.

Как видно из таблицы 1, синтезированные симметричные эфиры (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот по вязкостно-температурным свойствам не уступают гидравлическому маслу AVISTA HYD HLP 10, а многие из них превосходят его по ИВ, температуре застывания и вспышки.

Вязкостно-температурные свойства несимметричных эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот приведены в таблице 2.

Таблица 2

Вязкостно-температурные показатели несимметричных эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот

№	Эфир	Кислотное число, мгКОН/г	Кинематическая вязкость, мм ² /с		ИВ	Температура, °C	
			100°C	40°C		заст.	всп.
1	2	3	4	5	6	7	8
16	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_4\text{H}_9 \end{array}$	2.43	0.99	1.97	82	-64	128
17	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_6\text{H}_{13} \end{array}$	2.38	1.55	3.70	67	-54	154
18	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_7\text{H}_{15} \end{array}$	2.23	1.87	4.68	90	-58	161
19	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	0.77	2.01	5.67	173	-31	172
20	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_{10}\text{H}_{21} \end{array}$	0.65	2.62	7.51	222	-25	185
21	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \qquad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	2.76	1.55	3.56	93	-50	165
22	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \qquad \text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	3.52	1.49	3.45	77	-48	149
23	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_4\text{H}_9 \end{array}$	2.65	1.50	3.37	99	-66	138

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
24	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	1.80	2.07	6.52	116	-40	160
25	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \qquad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	1.34	2.05	6.46	113	-46	174
26	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_8\text{H}_{17} \qquad \text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH} \end{array}$	3.89	2.53	7.49	195	-14	207
27	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	1.60	2.48	7.32	193	-34	192
28	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \qquad \text{OC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	0.90	2.73	7.56	253	-58	204
29	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \qquad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	2.30	2.96	8.88	220	-40	180
30	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \qquad \text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	0.84	2.32	7.57	126	-42	176
31	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_8\text{H}_{17} \qquad \text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH} \end{array}$	3.55	2.96	9.21	201	-10	220
32	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_8-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \qquad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	1.82	3.68	11.34	247	-36	200
33	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_8-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_8\text{H}_{17} \qquad \text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH} \end{array}$	4.01	3.41	10.96	212	-7	238
ИПМ-10		0.02	3	9.3-10.5	95-100	-50	150
Масло индустриальное И-5-А		0.02	-	6-8	-	-18	140

Сравнение несимметричных эфиров (C_3 - C_{10}) двухосновных кислот с циклическим радикалом (21, 25, 29, 32) показывает, что с увеличением длины углеродной цепи кинематическая вязкость при 100°C увеличивается с 1.55 до 3.68 мм²/с, при 40°C – с 3.56 до 11.34 мм²/с, ИВ растет с 93 до 247 пунктов, температура застывания изменяется с -50 до -36°C, а температура вспышки повышается с 165 до 200°C. Аналогичные изменения наблюдаются и у несимметричных эфиров с ароматическим радикалом.

Сопоставление вязкостно-температурных свойств симметричных и несимметричных эфиров показало, что последние обладают улучшенными низкотемпературными характеристиками. Например, при замещении в молекуле

симметричного эфира себаценовой кислоты (15) одного из циклических радикалов алифатическим (32) наблюдаются следующие изменения: температура застывания снижается с -28 до -36°С, ИВ увеличивается с 178 до 247 пунктов, а температура вспышки повышается с 195 до 200°С.

Как видно из данных таблицы 2, несимметричные эфиры (C₃-C₁₀) двухосновных кислот по ИВ и температуре вспышки превосходят авиационное масло ИПМ-10 и промышленное масло И-5-А. Помимо того, температура застывания указанных эфиров намного ниже, чем у масла И-5-А.

Вязкостно-температурные свойства комплексных эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Вязкостно-температурные показатели комплексных эфиров
(C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот**

№	Структурная формула эфира	Кинематическая вязкость, мм ² /с		ИВ	Температура, °С	
		100°С	40°С		заст.	всп.
34	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{---COO}(\text{CH}_2)_2\text{OCOC}_5\text{H}_{11} \\ \\ \text{CH}_2\text{---COOC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	1.35	2.91	99	-44	160
35	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_2\text{---COO}(\text{CH}_2)_2\text{OCOC}_5\text{H}_{11} \\ \\ (\text{CH}_2)_2\text{---COOC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	1.64	3.18	178	-28	172
36	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_4\text{---COO}(\text{CH}_2)_2\text{OCOC}_5\text{H}_{11} \\ \\ (\text{CH}_2)_4\text{---COOC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	2.30	5.92	275	-13	206
37	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{---COO}(\text{CH}_2)_2\text{OCOC}_5\text{H}_{11} \\ \\ \text{CH}_2\text{---COO}(\text{CH}_2)_2\text{OCOC}_5\text{H}_{11} \end{array}$	1.68	3.95	100	-46	170
38	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_2\text{---COO}(\text{CH}_2)_2\text{OCOC}_5\text{H}_{11} \\ \\ (\text{CH}_2)_2\text{---COO}(\text{CH}_2)_2\text{OCOC}_5\text{H}_{11} \end{array}$	4.77	19.92	171	-36	190
39	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_4\text{---COO}(\text{CH}_2)_2\text{OCOC}_5\text{H}_{11} \\ \\ (\text{CH}_2)_4\text{---COO}(\text{CH}_2)_2\text{OCOC}_5\text{H}_{11} \end{array}$	10.22	55.96	173	-28	217
Hydroil NM 10		2.7	8-14	108	-30	160
Промышленное масло И-3-А		-	3-3.5	-	≤-18	≥90

Полученные данные свидетельствуют о том, что в комплексных эфирах, содержащих три сложноэфирные группы (34, 35, 36), с увеличением длины углеродной цепи в кислотном фрагменте кинематическая вязкость при 100°С возрастает с 1.35

до 2.30 мм²/с, при 40°C – с 2.91 до 5.92 мм²/с. Индекс вязкости повышается с 99 до 275 пунктов, температура застывания увеличивается с -44 до -13°C, а температура вспышки – от 160 до 206°C. Аналогичные изменения наблюдаются в комплексных эфирах, содержащих четыре сложноэфирные группы.

Синтезированные эфиры представляют собой маловязкие соединения и обладают характеристиками, которые делают их пригодными для использования в качестве основы приборных, гидравлических и промышленных масел, маловязких авиационных масел, рабочих и смазочно-охлаждающих жидкостей. Например, таких как РЖ-8, *AVISTA HYD HLP 10*, *Hydroil HM 10*, И-3-А, И-5-А.

Исследование вязкостно-температурных характеристик композиций на основе эфиров дикарбоновых кислот и минеральных масел

Приготовление композиций на основе эфиров и минеральных масел осуществлялось при комнатной температуре благодаря хорошей растворимости эфиров в минеральных маслах. Были получены 10%-ные композиции на основе синтезированных эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот с минеральными маслами Т-46 и АК-15. Проведены исследования вязкостно-температурных свойств полученных композиций. Данные приведены в таблицах 4 и 5.

Добавление эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот к маслу Т-46 способствует улучшению его вязкостно-температурных характеристик. В частности, ИВ увеличивается с 60 до 86, а температура вспышки – с 195°C до 228°C. Кроме того, большинство композиций характеризуется снижением температуры застывания по сравнению с исходным маслом (от -10 до -44°C), что свидетельствует об улучшении их низкотемпературных свойств.

Таблица 4

**Вязкостно-температурные свойства композиций на основе эфиров
(C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот и минерального масла Т-46**

№	Композиция	Кинематическая вязкость, мм ² /с		d_4^{20} , г/см ³	ИВ	Температура, °С	
		100°С	40°С			заст.	всп.
	Т-46	8.61	81.33	0.900	60	-10	195
1	Т-46+10% эфир (21)	5.96	42.5	0.904	77	-33	210
2	Т-46+10% эфир (25)	6.44	48.8	0.909	73	-36	218
3	Т-46+10% эфир (29)	6.66	51.8	0.910	73	-40	220
4	Т-46+10% эфир (32)	6.75	53.2	0.908	72	-44	222
5	Т-46+10% эфир (19)	4.59	26.3	0.905	80	-30	208
6	Т-46+10% эфир (24)	5.42	36.8	0.905	72	-33	214
7	Т-46+10% эфир (27)	6.07	42.2	0.908	83	-38	220
8	Т-46+10% эфир (22)	4.16	24.2	0.904	48	-28	205
9	Т-46+10% эфир (30)	5.02	30.5	0.906	85	-37	223
10	Т-46+10% эфир (14)	6.65	52.1	0.915	71	-36	225
11	Т-46+10% эфир (15)	6.98	57.2	0.907	70	-40	228
12	Т-46+10% эфир (10)	5.52	35.8	0.910	86	-41	224

Таблица 5

**Вязкостно-температурные свойства композиций на основе эфиров
(C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот и минерального масла АК-15**

№	Композиции	Кинематическая вязкость, мм ² /с		ИВ	Температура, °С	
		100°С	40°С		заст.	всп.
	масло АК-15	15.9	-	49	-6	205
1	АК-15+10% эфир (15)	9.82	67.60	127	-41	215
2	АК-15+10% эфир (25)	6.58	50.64	73	-31	200
3	АК-15+10% эфир (29)	8.96	64.27	115	-27	215
4	АК-15+10% эфир (22)	6.02	36.14	111	-37	195
5	АК-15+10% эфир (32)	8.13	54.98	117	-32	213
6	АК-15+10% эфир (27)	6.90	44.06	113	-32	211
7	АК-15+10% эфир (14)	6.89	55.48	71	-34	213
8	АК-15+10% эфир (10)	7.23	45.18	121	-22	212
9	АК-15+10% эфир (30)	5.90	37.31	100	-23	195
10	АК-15+10% эфир (24)	6.58	42.74	108	-27	207
11	АК-15+10% эфир (21)	10.10	72.09	123	-37	210
12	АК-15+10% эфир (19)	6.74	46.03	99	-35	206

Согласно полученным результатам, добавление 10% синтезированных эфиров (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот к минеральному маслу АК-15 повышает значение ИВ (от 49 до 127) и температуры вспышки (от 205 до 215°C), а также существенно понижает температуру застывания исходного масла (от -6 до -41°C).

Определение термоокислительной стабильности композиций

Была проведена оценка термоокислительной стабильности 5% и 10%-ных композиций на основе дибензиловых эфиров малоновой и адипиновой кислот с турбинным маслом Т-46 в соответствии с требованиями ГОСТ 11063-2020.

На основании проведённых исследований выявлено, что все композиции демонстрируют высокую термоокислительную стабильность. Добавление 5%-ного содержания эфиров в минеральное масло Т-46 приводит к значительному снижению количества осадка после окисления, уменьшая его с 3.15 до 0.02 масс. %.

Трибологический анализ антизадирных и антиизносных свойств смазочных композиций

В ходе исследования были изучены смазывающие свойства композиций на основе синтезированных эфиров и минерального масла АК-15. Оценивались такие показатели, как индекс задира, критическая нагрузка, нагрузка сваривания и диаметр пятна износа. Данные представлены в таблице 6.

Таблица 6

Сравнительный анализ смазывающих свойств композиций на основе эфиров и масла АК-15

№	Композиция	Индекс задира (I_z), Н	Критическая нагрузка (P_k), Н	Нагрузка сваривания (P_c), Н	Диаметр пятна износа ($D_{и}$), мм
1	2	3	4	5	6
1	АК-15 + 10% эфир (15)	410	760	950	0.45
2	АК-15 + 10% эфир (25)	429	784	980	0.42
3	АК-15 + 10% эфир (29)	450	800	970	0.40
4	АК-15 + 10% эфир (22)	330	570	890	0.65

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6
5	АК-15 + 10% эфир (32)	425	770	940	0.47
6	АК-15 + 10% эфир (27)	440	810	960	0.43
7	АК-15 + 10% эфир (14)	460	830	980	0.38
8	АК-15 + 10% эфир (10)	420	740	920	0.50
9	АК-15 + 10% эфир (30)	340	580	880	0.63
10	АК-15 + 10% эфир (24)	410	750	930	0.48
11	АК-15 + 10% эфир (21)	337	588	882	0.60
12	АК-15 + 10% эфир (19)	390	720	910	0.52
ДОС		256	500	-	0.69
Пентаэритрит		290	500	-	0.79

Результаты показали, что композиции с сукцинатами и адипинатами продемонстрировали наилучшие противоизносные и противозадирные характеристики.

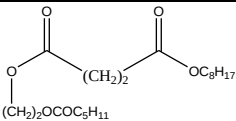
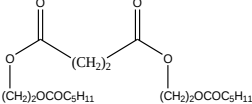
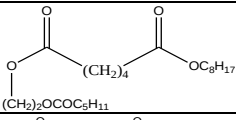
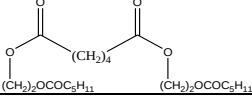
Влияние структурной специфичности сложных эфиров (С₃-С₁₀) дикарбоновых кислот на термоокислительные свойства гидроочищенных дизельных топлив

Синтезированные эфиры были испытаны в качестве антиокислительных добавок к гидроочищенному дизельному топливу согласно ГОСТ 305-2013. Эфиры добавляли в количестве 0.004% к дизельному топливу. Процесс проводили в аппарате «ЛСАРТ» при 120°C в течение 4 часов в соответствии с ГОСТ 9144-79. Результаты исследований представлены в таблице 7.

Таблица 7
Антиокислительные свойства сложных эфиров (С₃-С₁₀) дикарбоновых кислот

№	Структурная формула эфира	Количество осадка, мг/100мл	
		дизельное топливо	дизельное топливо с добавками
1	2	3	4
16	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_7\text{H}_{15} \end{array}$	4.3	1.5
17	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_6\text{H}_{13} \end{array}$	4.3	2.3
18	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_7\text{H}_{15} \end{array}$	4.3	0.6

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4
19	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \quad \text{OC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	4.3	0.9
20	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \quad \text{OC}_{10}\text{H}_{21} \end{array}$	4.3	2.6
22	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \quad \text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	4.3	1.6
26	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_8\text{H}_{17} \quad \text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH} \end{array}$	4.0	2.9
34		4.0	2.6
37		4.0	1.9
27	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \quad \text{OC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	5.9	0.7
28	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \quad \text{OC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	5.9	0.1
29	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \quad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	5.9	4.2
30	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \quad \text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	5.9	1.5
35		4.0	1.3
38		5.9	0.3

Испытания показали, что наилучшие антиокислительные свойства демонстрируют несимметричные эфиры малоновой и адипиновой кислот. В частности, бутил-гептил и бутил-октил малонаты снижают значение осадка с 4.3 до 0.6 мг/100 мл и 0.9 мг/100 мл соответственно, а бутил-октил и гептил-октил адипинаты – с 5.9 до 0.7 мг/100 мл и 0.1 мг/100 мл соответственно. Наиболее эффективным среди комплексных

эфиров является эфир адипиновой кислоты (38), при котором значение осадка уменьшается с 5.9 до 0.3 мг/100 мл.

Исследование эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот в качестве компонентов консервационных жидкостей

Синтезированные эфиры (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот были исследованы как компоненты консервационных жидкостей. С этой целью были приготовлены 3 и 10%-ные композиции с турбинным маслом Т-30, которые прошли испытания на коррозионную стойкость в аппарате “CORROSIONBOX-1000E” (по стандарту ASTM E-85), гидрокамере «Г-4», морской воде и 0.001%-ном растворе H₂SO₄. Исследованы антикоррозионные свойства 3% и 10%-ных композиций сложных эфиров малоновой, янтарной и адипиновой кислот в различных агрессивных средах. Результаты представлены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8

Результаты исследования эфиров малоновой кислоты в качестве компонентов консервационных жидкостей

Эфир	Концентрация эфира в турбинном масле Т-30, %	Продолжительность защиты от коррозии, сутки		
		Гидрокамера «Г-4»	Морская вода	0.001%-й раствор H ₂ SO ₄
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_4\text{H}_9 \end{array}$	3	95	81	47
	10	122	103	50
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_8\text{H}_{17} \qquad \text{OC}_8\text{H}_{17} \end{array}$	3	82	74	42
	10	114	90	46
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_9\text{H}_{19} \qquad \text{OC}_9\text{H}_{19} \end{array}$	3	85	67	37
	10	117	82	43
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_{10}\text{H}_{21} \qquad \text{OC}_{10}\text{H}_{21} \end{array}$	3	77	40	35
	10	105	48	39
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \qquad \text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	3	100	89	49
	10	128	116	62
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \qquad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	3	80	70	45
	10	115	90	58
К-17	-	70	70	-
НГ-203А	-	83	16	-

Продолжительность защиты минерального масла Т-30 составляет 35 дней в гидрокамере, 15 дней в морской воде и 9 дней в 0.001%-ном растворе H₂SO₄. В сравнении, 10%-ные композиции сложных эфиров малоновой кислоты обеспечивают защиту: от 105 до 128 дней в гидрокамере «Г-4», от 48 до 116 дней в морской воде и от 39 до 62 дней в растворе серной кислоты.

Таблица 9
Результаты исследования моноэфиров (C₄-C₁₀)
дикарбоновых кислот в качестве компонентов
консервационных жидкостей

№	Моноэфир	Концентрация моноэфира в турбинном масле Т-30, %	Продолжительность защиты от коррозии, сутки		
			CORROSION BOX-1000E (фаза конденсации)	Морская вода	0.001%-й раствор H ₂ SO ₄
1	Монобутил сукцинат	3	324	123	119
		10	338	130	122
2	Монооктил сукцинат	3	330	98	93
		10	338	104	99
3	Монобутил адипинат	3	326	110	97
		10	347	125	116
4	Моногептил адипинат	3	341	102	91
		10	353	117	108
5	Монооктил адипинат	3	330	92	87
		10	345	96	92
6	Монометил-циклогексил адипинат	3	335	80	73
		10	353	84	79
7	Монобензил адипинат	3	329	64	59
		10	345	78	70
8	Монооктил себагинат	3	339	74	70
		10	347	87	82
9	Монометил-циклогексил себагинат	3	336	59	53
		10	353	64	60
К-17		-	70	70	-
НГ-203А		-	83	16	-

Результаты показывают, что композиции на основе моноэфиров (C₄-C₁₀) дикарбоновых кислот с турбинным маслом Т-30 в аппарате «CORROSIONBOX-1000E» обеспечивают антикоррозионный эффект свыше 300 дней, что значительно превышает защитные характеристики промышленных консервационных жидкостей К-17 и НГ-203А (70 и 83 дня соответственно). В морской воде и 0.001%-м растворе H₂SO₄ наилучшей противокоррозионной эффективностью обладают 3% и 10%-е композиции на основе моногептиладипината (102-117 и 91-108 дней), монобутиладипината (110-125 и 97-116 дней) и монобутилового эфира янтарной кислоты (123-130 и 119-122 дней соответственно).

Исследование бактерицидной активности сложных эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот

Изучены бактерицидные свойства синтезированных сложных эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот в отношении сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ). Результаты исследования бактерицидно-ингибиторных характеристик этих эфиров представлены в таблице 10.

Таблица 10
Результаты исследования бактерицидных свойств сложных эфиров (C₃-C₁₀) дикарбоновых кислот

№	Эфир	Концентрация соединения, мг/л	Количество бактерий (число клеток/мл)	Концентрация H ₂ S, мг/л	Бактерицидный эффект, Z-%
1	2	3	4	5	6
1	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_4\text{H}_9 \qquad \text{OC}_4\text{H}_9 \end{array}$	5	10 ¹	10.9	97
		25	10 ¹	1.5	99.6
		50	-	-	100
2	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_6\text{H}_{17} \qquad \text{OC}_6\text{H}_{17} \end{array}$	5	10 ¹	13.1	96.5
		25	10 ¹	3.6	99
		50	-	-	100
3	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_9\text{H}_{19} \qquad \text{OC}_9\text{H}_{19} \end{array}$	5	10 ¹	19	95
		25	10 ¹	-	99.6
		50	-	-	100
4	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_{10}\text{H}_{21} \qquad \text{OC}_{10}\text{H}_{21} \end{array}$	5	10 ¹	7.5	98
		25	10 ¹	1.7	99.5
		50	-	-	100

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6
5	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \quad \text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	5	10 ¹	10.9	97
		25	10 ¹	3.6	99.04
		50	-	-	100
6	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \quad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	5	10 ¹	33.5	91
		25	10 ¹	5.5	98.5
		50	-	-	100
7	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \quad \text{OH} \end{array}$	50	-	-	100
		100	-	-	100
		200	-	-	100
8	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \quad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	50	10 ⁵	171	54.4
		100	10 ⁴	139.8	62.7
		200	10 ³	100	73
9	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_8\text{H}_{17} \quad \text{OH} \end{array}$	50	10 ³	96.4	74.2
		100	-	-	100
		200	-	-	100
10	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_8-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_7\text{H}_{15} \quad \text{OC}_6\text{H}_{10}\text{CH}_3 \end{array}$	50	10 ²	56.3	85
		100	-	-	100
		200	-	-	100
11	$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}-(\text{CH}_2)_8-\text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{OC}_8\text{H}_{17} \quad \text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OCOC}_5\text{H}_{11} \end{array}$	50	-	-	100
		100	-	-	100
		200	-	-	100

Полученные данные свидетельствуют о высоких бактерицидных свойствах диэфиров малоновой кислоты по отношению к СВБ. При концентрации 5 мг/л симметричные эфиры малоновой кислоты (МК) демонстрируют более 90%-ный бактерицидный эффект, а при 50 мг/л полностью предотвращают рост бактериальных клеток, обеспечивая 100%-ную защиту. Промышленные ингибиторы АМДОР-ИК-7 и АМДОР-ИК-10 при аналогичной концентрации (50 мг/л) оказывают лишь 60% и 40%-ный биоцидный эффект соответственно. Влияние симметричных эфиров МК на жизнедеятельность СВБ также представлено на диаграмме (рис. 9).

Моногептиловый эфир адипиновой кислоты и комплексный эфир себаценовой кислоты показывают высокую эффективность, обеспечивая 100%-ное подавление роста СВБ при всех исследованных концентрациях.

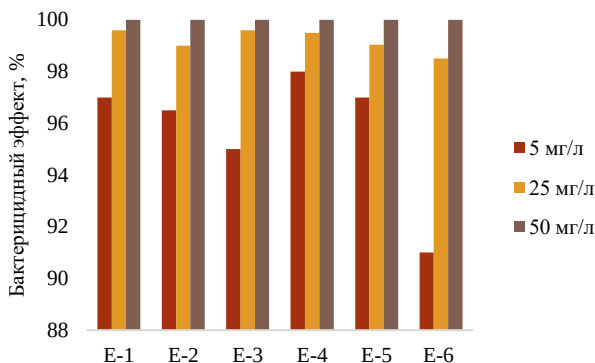


Рис. 9. Бактерицидная активность сложных эфиров малоновой кислоты

Моноэфир янтарной кислоты и несимметричный эфир себадиновой кислоты при концентрациях 100 и 200 мг/л также демонстрируют полное подавление роста бактериальных клеток.

Исследование пластифицирующих характеристик диэфиров (C_3 - C_{10}) дикарбоновых кислот

Синтезированные сложные эфиры (C_3 - C_{10}) дикарбоновых кислот были использованы в качестве пластификаторов для полимерных матриц, таких как полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полипропилен (ПП) и поливинилхлорид (ПВХ). Проведено исследование пластифицирующих свойств полученных полимерных материалов, результаты которого представлены в таблицах 11 и 12.

В ПЭВП образец с диоктиловым эфиром МК демонстрирует лучший показатель по разрушающему напряжению (30.06 МПа). В ПП три пластификатора обеспечивают высокие значения разрушающего напряжения (30.75, 28.47 и 29.88 МПа) и относительного удлинения (850, 870 и 930%). В ПВХ наивысшее значение разрушающего напряжения (36.52 МПа) наблюдается у образца с диоктиловым эфиром малоновой кислоты.

Таблица 11

Механические характеристики пластифицирующих композиций

№	Состав композиции, масс. %	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение, %
1	100% ПЭВП	22.95	19
2	ПЭВП + 1% П ₁	30.06	19
3	ПЭВП + 1% П ₂	21.79	10
4	ПЭВП + 1% П ₃	24.43	12
5	100% ПП	24.28	437
6	ПП + 1% П ₁	30.75	850
7	ПП + 1% П ₂	29.88	930
8	ПП + 1% П ₃	28.47	870
9	ПВХ + 1% П ₁	36.52	52
10	ПВХ + 1% П ₂	34.36	57

*П₁ – диоктил малонат, П₂ – 4-метилциклогексил-гептил малонат, П₃ – бензил-гептил малонат.

Таблица 12

Механические характеристики пластифицирующих композиций

№	Состав композиции, масс. %	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %
1	2	3	4
1	100% ПЭВП	30.0	32
2	ПЭВП + 1% П ₄	21.2	12
3	ПЭВП + 1% П ₅	28.5	18
4	ПЭВП + 1% П ₆	30.2	20

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4
5	ПЭВП + 1% П ₇	32.0	20
6	100% ПП	34.0	970
7	ПП + 1% П ₄	35.1	1000
8	ПП + 1% П ₅	34.3	980
9	ПП + 1% П ₆	32.0	960
10	ПП + 1% П ₇	30.3	880
11	100% ПВХ	30.8	16
12	ПВХ + 20% П ₇	15.6	34

*П₄ – ди(4-метилциклогексил)адипинат, П₅ – ди(4-метилциклогексил)себагинат, П₆ – 4-метилциклогексил-гептил адипинат, П₇ – 4-метилциклогексил-гептил себагинат.

Физико-механические показатели композиций на основе симметричных и несимметричных эфиров адипиновой и себагиновой кислот указывают на неоднозначное влияние добавок на пластифицирующие свойства полимеров. Добавление 1 масс. % несимметричного эфира (4-метилциклогексил-гептилового) повышает предел прочности ПЭВП, тогда как симметричный диэфир адипиновой и себагиновой кислот обеспечивает наилучшие значения предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве для ПП (35,1 и 34,3 МПа, 1000 и 980% соответственно). Установлено, что добавление 20 масс. % 4-метилциклогексил-гептилового эфира себагиновой кислоты в ПВХ увеличивает относительное удлинение композита.

Разработка технологии получения несимметричного эфира (С₃-С₁₀) дикарбоновых кислот

Для получения сложного эфира была разработана технологическая схема этерификации на примере получения несимметричного эфира малоновой кислоты. Технологический процесс получения несимметричного сложного эфира включает

две основные стадии (рис. 10): синтез моноэфира и его последующую этерификацию до диэфира.

Стадии процесса реализуются последовательно в реакторе (7), оснащённом механической мешалкой. Исходные реагенты – малоновая кислота, бутанол-1 и растворитель (*n*-ксилол) – по линиям I, II и III из емкостей (1, 2, 3) подаются в смеситель (4), где происходит их предварительное перемешивание. Полученная смесь с помощью насоса (5) подается по линии IV сверху в реактор (7). Одновременно катализатор (КУ-2-8) загружается в реактор (7) по линии V. После загрузки реагентов включается электрический обогрев и мешалка. Процесс этерификации осуществляется при непрерывном перемешивании в течение 4 часов с поддержанием температуры в реакторе в пределах 130 – 135°C. Реакция продолжается до полного удаления воды из реакционной среды путем азеотропной отгонки с *n*-ксилолом. Образовавшаяся реакционная смесь по линии VI после охлаждения в теплообменнике (8) до 50°C направляется в фильтрационный аппарат (9), где осуществляется отделение этерификата от механических примесей и частиц катализатора. Жидкая фаза, содержащая азеотропную смесь вода – *n*-ксилол, по линии VIII поступает в атмосферно-ректификационную колонну (10), где происходит разделение фаз: вода удаляется через верхнюю часть колонны и направляется в систему водоочистки, а *n*-ксилол возвращается в реакционную систему (емкость 3) для повторного использования.

На втором этапе по линии IV из емкости (6) в реактор (7) с полученным моноэфиром подается *n*-октанол. Этерификация продолжается при температуре 130-135°C до полного выделения расчетного количества реакционной воды и достижения величины кислотного числа этерификата 6 мг КОН/г.

Очистка конечного продукта осуществляется методом фракционной перегонки в вакуумно-ректификационной колонне (11) при остаточном давлении 20 мм рт. ст. и температуре 345°C. Для этого реакционная смесь поступает в колонну по линии VIII. Очищенный этерификат по линии IX подается в теплообменник

(12) для охлаждения, а затем по линиям X и XI распределяется в емкости (13 и 14), где происходит разделение полученных продуктов: моноэфира и диэфира.

Остаток перегонки, представляющий собой смолообразный жидкий продукт, выводится через нижний сливной клапан реактора.

Полученные продукты – моноэфир (побочный) и несимметричный диэфир – транспортируются в парк готовой продукции для дальнейшего использования или хранения. Моноэфир может быть повторно подан в реактор для проведения доэтерификации, а также использован в качестве бактерицидного ингибитора и компонента консервационных жидкостей.

ВЫВОДЫ

1. Синтезированы симметричные и несимметричные диэфиры, а также комплексные эфиры малоновой, янтарной, адипиновой и себадиновой кислот с использованием катализаторов КУ-2-8 и Цеокар-2 в среде *n*-ксилола. Выход продуктов составил 70–90%, селективность 75–91%. Исследованы вязкостно-температурные свойства эфиров. Данные эфиры могут быть рекомендованы в качестве основы маловязких синтетических масел, таких как РЖ-8, ИПМ-10, И-3-А, И-5-А, *Hydroil HM 10*, *Avista HYD HLP 10* [1-2, 4, 8-9, 14, 18, 20, 23].
2. Синтезированные моно- и диэфиры исследованы в качестве компонентов консервационных жидкостей и продемонстрировали высокие защитные свойства от коррозии. Противокоррозионная эффективность 3 и 10%-ных композиций, приготовленных на основе моноэфиров с минеральным маслом Т-30, составила: 324 – 353 суток в аппарате “CORROSIONBOX-1000E”, 59 – 130 суток в морской воде и 53 – 122 суток в 0.001%-ном растворе серной кислоты [12, 13].
3. Симметричные эфиры малоновой кислоты впервые испытаны в качестве бактерицид-ингибиторов и продемонстрировали высокий защитный эффект против сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ) при низких концентрациях (5, 25 и 50 мг/л). Установлено, что при 5 мг/л они обеспечивают бактерицидный эффект 91–98%, а при 50 мг/л полностью подавляют рост бактериальных клеток. Моногептиловый эфир адипиновой и монооктиловый эфир янтарной кислоты также были исследованы на бактерицидную активность и при 50 мг/л проявили 100%-ный бактерицидный эффект [21, 25, 26, 28].
4. Несимметричные эфиры малоновой кислоты впервые испытаны в качестве антиокислительных присадок к гидроочищенному дизельному топливу. Установлено, что бутил-гептиловый и бутил-октиловый эфиры малоновой кислоты уменьшают количество осадка в дизельном топливе

- с 4.3 до 0.6 и 0.9 мг/100 мл соответственно. Несимметричные и комплексные эфиры адипиновой кислоты также проявили высокие антиокислительные свойства. Так, комплексный эфир, а также гептил-октиловый, бутил-октиловый и бензил-гептиловый эфиры адипиновой кислоты уменьшают количество осадка с 5.9 до 0.3, 0.1, 0.7 и 1.5 мг/100 мл соответственно [3, 5, 7, 22].
5. Симметричные и несимметричные эфиры малоновой, адипиновой и себациновой кислот испытаны в качестве пластификаторов для полипропилена (ПП), поливинилхлорида (ПВХ) и полиэтилена высокой плотности (ПЭВП). Выявлено, что образцы с октиловым, 4-метилциклогексил-гептиловым и бензил-гептиловым диэфирами малоновой кислоты обладают высокими значениями разрушающего напряжения (30.75, 29.88 и 28.47 МПа) и относительного удлинения (850, 930 и 870%) в ПП. Композиции с диметилциклогексильным эфиром адипиновой и себациновой кислот также характеризуются высоким пределом прочности (35.1 и 34.3 МПа) и относительным удлинением при разрыве (1000 и 980%) в ПП [15, 16, 19].
 6. Изучены термоокислительная и термическая стабильность синтезированных эфиров. Установлено, что в 5%-ных композициях на основе дибензиловых эфиров адипиновой и себациновой кислот с минеральным маслом Т-46 количество осадка после окисления снижается с 3.15 до 0.02 масс.%. Термический анализ сложных эфиров (C_3 - C_{10}) дикарбоновых кислот показал, что наибольшей термической стабильностью обладают несимметричные эфиры адипиновой кислоты (269–370°C) и симметричный эфир себациновой кислоты (323–396°C) [24].
 7. Исследованы смазывающие свойства композиций, приготовленных на основе синтезированных эфиров и минерального масла АК-15, и установлено, что композиции с сукцинатами и адипинатами обладают наилучшими противозносными ($D_{и} = 0.42$ мм и $D_{и} = 0.38$ мм соответственно) и противозадирными ($I_{з} = 429$ Н и

$I_z = 460$ Н, $P_k = 784$ и $P_k = 830$ Н соответственно) характеристиками. Эти показатели значительно превосходят результаты промышленных масел, таких как ДОС и пентаэритрит.

8. Разработана технологическая схема получения сложных эфиров (C_3 - C_{10}) дикарбоновых кислот на примере несимметричного эфира малоновой кислоты.

**Основные результаты диссертации опубликованы в
следующих тезисах и статьях:**

1. Мамедъяров, М.А, Алиева, Ф.Х., Исрафилова, К.О. Синтез и исследование эфиров различной структуры адипиновой кислоты // Нефтепереработка и нефтехимия, – 2019. №11, – с. 20-24.
2. Мамедъяров, М.А., Алиева, Ф.Х., Исрафилова, К.О. Подбор эффективных катализаторов для реакции этерификации янтарной кислоты // Международная Научная Конференция «Актуальные проблемы современной химии», посвященная 90-летию Института Нефтехимических Процессов им. академика Ю.Г. Мамедалиева, – Баку: – 2 - 4 октября, – 2019, – с.374.
3. Мамедъяров, М.А. Алиева, Ф.Х., Алиева, С.Г., Исрафилова, К.О., Гулиева, Э.М. Эфиры терминальных дикарбоновых кислот в качестве антиокислительной присадки к топливам // Международная Научная Конференция «Актуальные проблемы современной химии», посвященная 90-летию Института Нефтехимических Процессов им. академика Ю.Г. Мамедалиева, – Баку: – 2 - 4 октября, – 2019, – с.152.
4. Мамедъяров, М.А. Исследование корреляционной зависимости реакции этерификации янтарной кислоты методом компьютерного моделирования / М.А. Мамедъяров, Ф.М. Велиева, Ф.Х. Алиева, К.О. Исрафилова // Технологии нефти и газа, – 2020. №2, – с.16-20.
5. Mammadyarov, M.A. Influence of structural specificity of esters on the operational properties of hydrofined diesel fuels / Maharram Mammadyarov, Fatmakhanyam Aliyeva, Kamala Israfilova, Sayyara Aliyeva, Elnara Guliyeva // Processes of

- Petrochemisrty and Oil Refining, – 2020. Vol.21, No. 3, – p.334-339.
6. Исрафилова, К.О. Сложные эфиры дикарбоновых кислот в качестве основы и компонентов синтетических смазочных масел (обзор) // Нефтепереработка и нефтехимия, – 2020. №7, – с.16-20.
 7. Mammadyarov, M.A., Aliyeva, F.X., Aliyeva, S.G., Israfilova, K.O., Guliyeva, E.M. Terminal dikarboksilik asitlerin esterlerinin sentezi ve onların yapısının hidroişlem görmüş dizel yakıtın tribolojik özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması // 32. Ulusal Kimya Kongresi, – Eskişehir: –17-19 sentyabr, – 2020, – s. 218.
 8. Mammadyarov, M.A., Aliyeva, F.X., İsrafilova, K.O. Çeşitli yapıları terminal dikarboksilik asit (C₄-C₈) esterlerinin sentezi // 32. Ulusal Kimya Kongresi, – Eskişehir: – 17-19 Sentyabr, – 2020, – s. 215.
 9. Мамедъяров, М.А., Алиева, Ф.Х., Исрафилова, К.О. Синтез и исследование физико-химических характеристик несимметричных и комплексных эфиров терминальных дикарбоновых кислот различной структуры // Müasir Kimyanın Problemləri və İnkişaf Tendensiyaları” mövzusunda Respublika Elmi Praktik Konfransın Materialları, – Bakı: - 12 dekabr, – 2020, – s.113.
 10. Исрафилова, К.О. Математическая обработка экспериментальных данных композиций приготовленных на основе моноэфиров терминальных дикарбоновых кислот // Gənc tədqiqatçı Elmi Praktiki Jurnal, – 2021. Том VII, №2, – с.74-77.
 11. Мамедъяров, М.А. Исследование электропроводности сложных эфиров (C₄-C₁₀) терминальных дикарбоновых кислот в зависимости от их химической структуры / М.А. Мамедъяров, Ф.Х. Алиева, К.О. Исрафилова, Ф.И. Ахмедов // Мир нефтепродуктов, – 2021. №6, – с. 12-15.
 12. Mammadyarov, M.A., Aliyeva, F.Kh., Israfilova, K.O., Djavadova, N.A. Synthesis of Monoesters of (C₄-C₁₀) Terminal dicarboxylic Acids and Research of Anti-Corrosive Properties of

- Lubricant Compositions Based on their Bases // Usbik International Congress on Natural Sciences, – Turkey (online): – 26-28 fevral, – 2021, – s.43.
13. Mammadyarov, M.A. Study of monoesters of terminal dicarboxylic acids as components of conservation liquids / Maharram Mammadyarov, Vagif Abbasov, Fatmakhanym Aliyeva, Kamala Israfilova // Processes of Petrochemistry and Oil Refining, – 2022. Vol.23, No.1, – p.92-98.
 14. Мамедъяров, М.А. Изучение процесса синтеза несимметричного гептилоктилового эфира адипиновой кислоты методом ИК-спектроскопии / М.А. Мамедъяров, Ф.Х. Алиева, К.О. Исрафилова, С.Ф. Ахмедбеков // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, – 2022. №6-7, – с.57-61.
 15. Aliyeva, F.Kh., Israfilova, K.O., Huseynova, L.N. Synthesis and Study of Dicarboxylic Acid Esters as Plasticizers // 6th International Turkic World Conference on Chemical Sciences and Technologies, – Baku: – October 26-29, – 2022, – p.74.
 16. Алиева, Ф.Х. Синтез и исследование сложных эфиров дикарбоновых кислот в качестве пластификаторов / Ф.Х. Алиева, Н.Б. Арзуманова, К.О. Исрафилова, Л.Н. Гусейнова // Башкирский химический журнал, – 2023. Том 30, № 3, – с.35-39.
 17. Алиева, Ф.Х. Оптимизация вязкостно-температурных свойств композиций на основе сложных эфиров дикарбоновых кислот / Ф.Х. Алиева, Р.П. Джафаров, Г.Ф. Мамедова, К.О. Исрафилова // Башкирский химический журнал, – 2023. Том 30, № 2, – с.70-73.
 18. Омарли, А.Э., Исрафилова К.О. Синтез комплексного эфира себаценовой кислоты // Международная Научная Конференция студентов, аспирантов и молодых ученых “Ломоносов”, – Баку: – 2023, – с.122.
 19. Алиева, Ф.Х., Арзуманова, Н.Б., Исрафилова, К.О. Исследование пластифицирующих свойств сложных эфиров малоновой кислоты // Akademik Sahib Müseyib oğlu Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş konfrans. “Neft kimyası,

- polifunksional monomerlər, oliqomerlər və polimerlərin sintezi”. Məruzələrin tezisləri, – Bakı: – 23 iyun, – 2023, – s.193-194.
20. Алиева, Ф.Х., Исрафилова, К.О., Гусейнова, Л.Н. Синтез сложных эфиров малоновой кислоты // Akademik Sahib Müseyib oğlu Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş konfrans. “Neft kimyası, polifunksional monomerlər, oliqomerlər və polimerlərin sintezi”. Məruzələrin tezisləri, – Bakı: – 23 iyun, – 2023, – s.33-34.
21. Əliyeva, F.X., Malon turşusunun diefirləri korroziyaya qarşı bakterisid-inhibitor kimi, İxtira İ 2023 0095, Azərbaycan Respublikası / Əliyeva F.X., Ağamaliyeva D.B., İsrəfilova K.O. – 2023.
22. Əliyeva, F.X., Malon turşusunun mürəkkəb efirləri dizel yanacaqlarına antioksidant kimi, İxtira İ 2024 0101, Azərbaycan Respublikası / İsrəfilova K.O., Əliyeva S.Q., Quliyeva E.M. – 2024.
23. Aliyeva, F.Kh., Israfilova, K.O., Javadova, N.A. Synthesis of malonic acid esters // Processes of Petrochemistry and Oil Refining, – 2024. Vol.25, No.1, – p.122-130.
24. Алиева, Ф.Х., Алиева, Н.М., Исрафилова, К.О. Исследование термического разложения и стабильности сложных эфиров малоновой кислоты методом термогравиметрии // Международная научная конференция «Современные проблемы нефтехимии и технологии масел», посвященная 100-летию академика Магеррама Али оглы Мамедъярова, Баку: – 26-27 сентября, – 2024, – с. 216-217.
25. Алиева, Ф.Х., Агамалиева, Д.Б., Исрафилова, К.О. Исследование бактерицидной активности сложных эфиров малоновой кислоты в отношении сульфатовосстанавливающих бактерий // Международная научная конференция «Современные проблемы нефтехимии и технологии масел», посвященная 100-летию академика Магеррама Али оглы Мамедъярова, – Баку: – 26-27 сентября, 2024, – с. 275-277.
26. Aliyeva, F.Kh., Aghamaliyeva, D.B., Israfilova, K.O. Study of esters of (C₃-C₁₀) dicarboxylic acids as effective bactericide-

inhibitors // Processes of Petrochemistry and Oil Refining, 2024. Vol. 25, No.4, – p.1002-1007.

27. Алиева, Ф.Х., Исрафилова, К.О., Гусейнова, Л.Н. Исследование вязкостно-температурных свойств композиций на основе эфиров (C_3-C_{10}) дикарбоновых кислот и минерального масла АК-15 // Международная Научная Конференция «Мономеры и современные проблемы нефтехимии», посвященная 110-летию Академика Солтана Джафар оглы Мехтиева, – Баку: – 19-20 декабря, – 2024, – с. 48-49.
28. Əliyeva, F.X., Dikarbon turşularının mürəkkəb efirləri korroziyaya qarşı bakterisid-inhibitor kimi, İxtira a 2024 0029, Azərbaycan Respublikası / Ağamalıyeva D.B., İsrəfilova K.O. – 2025.



Защита диссертации состоится 27 мая 2025 года в 10:00 на заседании Разового Диссертационного совета BFD 1.16/1, созданного на базе диссертационного совета ED 1.16, действующего на базе Института Нефтехимических Процессов имени акад. Ю.Г. Мамедалиева Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики

Адрес: AZ1025, г. Баку, проспект Ходжалы, 30

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Нефтехимических Процессов имени акад. Ю.Г. Мамедалиева Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики

Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте Института Нефтехимических Процессов имени акад. Ю.Г. Мамедалиева Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики www.nkpi.az

Автореферат разослан 24 апреля 2025 года по соответствующим адресам.

Подписано в печать: 22.04.2025
Формат бумаги: А5
Объём: 39915
Тираж: 70