

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела имени К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

Шекешева Дильназ Ермаковна

Модификация битумных вяжущих материалами на биологической основе

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B05101– Химическая и биохимическая инженерия

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела имени К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

«Химическая

и биохимическая

инженерия»

доктор PhD

А. А. Амитова

« _____ » 2024 г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Модификация битумных вяжущих материалами на биологической основе»

По образовательной программе 6B05101-Химическая и биохимическая инженерия

Выполнил

Шекешева Д. Е.

Рецензент

Доктор PhD, старший

преподаватель

_____ Бауенова М. О.

« _____ » 2024 г.

Научный руководитель

Доктор PhD, ассоц.

профессор

_____ Айткалиева Г. С.

« _____ » 2024 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

6B05101-Химическая и биохимическая инженерия

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
«Химическая
и биохимическая
инженерия»
доктор PhD
А. А. Амирова
« » 2024



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Шекешева Дильназ Ермековна

Тема: Модификация битумных вяжущих материалами на биологической основе.

Утверждена приказом проректора по академической работе университета № 548 П/Ө от «04» декабря 2023 г.

Срок сдачи законченной работы «19» июня 2024 г.

Исходные данные к дипломной работе: битум марки БНД 70/100 (ТОО «ПНХЗ»)

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Литературный обзор
- б) Экспериментальная часть
- в) Заключение
- г) Список использованной литературы

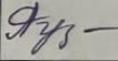
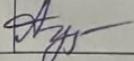
Перечень графического материала: представлены

Рекомендуемая основная литература: из 50 наименований

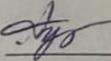
ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Литературный обзор		Выполнено
Экспериментальная часть		Выполнено
Заключение		Выполнено

Подписи
консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу
(проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Экономическая часть	Айткалиева Г. С., доктор PhD, ассоц. профессор		
Экспериментальная часть	Айткалиева Г. С., доктор PhD, ассоц. профессор		
Норм контролер	Айткалиева Г. С., доктор PhD, ассоц. профессор		

Научный руководитель

 Айткалиева Г. С.

Задание принял к исполнению обучающийся

 Шекешева Д. Е.

Дата

«__» _____ 2024 г.

АННОТАЦИЯ

Модификация связующего отработанным подсолнечным маслом для дорожных материалов указывает на внедрение практики переработки с учетом экологических проблем, что улучшает правильное управление данными отходами.

В данной работе представлен критический обзор использования отработанных подсолнечных масел в качестве реювенатора для восстановления асфальтовых покрытий. Во введении основное внимание уделялось применению биоматериалов для частичной или полной замены асфальтовых вяжущих на нефтяной основе. В экспериментальной части представлены основные характеристики сырья – отработанного подсолнечного масла, методом ИК- спектроскопии изучен его групповой состав; а также описана методика применения отработанных подсолнечных масел в качестве реювенатора регенерированных асфальтовых покрытий. В третьей части дипломной работы представлены результаты исследования эффективности реювенаторов при восстановлении исходных свойств битумных вяжущих. Проведенные исследования показали, что использование отработанных подсолнечных масел является экономически устойчивым, экологически безопасным и способным уменьшить образование углерода в виду замены нефтепродуктов.

Ключевые слова: Бивяжущие вещества, битум, модификатор, отходы, отработанное растительное масло.

АННОТАЦИЯ

Жол материалдарына арналған қалдық күнбағыс майымен байланыстырғыш модификациясы осы қалдықтарды дұрыс басқаруды жақсартатын экологиялық сезімтал қайта өңдеу тәжірибесінің қабылданғанын көрсетеді.

Бұл дипломдық жұмыста күнбағыс майының қалдықтарын асфальт жабындарын қалпына келтіру үшін жасартқыш ретінде пайдалану бойынша әдеби шолу қарастырылған. Кіріспе мұнай негізіндегі асфальтты байланыстырғыштарды ішінара немесе толығымен ауыстыру үшін биоматериалдарды пайдалану жайындағы ақпаратқа бағытталған. Эксперименттік бөлімде шикізаттың негізгі сипаттамалары – күнбағыс майының қалдығы берілген, оның топтық құрамы ИҚ-спектроскопия көмегімен зерттелген; сонымен қатар күнбағыс майларының қалдықтарын қалпына келтірілген асфальт жабындары үшін жасартқыш ретінде пайдалану әдісі сипатталды. Мақаланың үшінші бөлігінде битум байланыстырғыштарының бастапқы қасиеттерін қалпына келтірудегі жасартқыштардың тиімділігін зерттеу нәтижелері берілген. Зерттеулер күнбағыс майларының қалдықтарын пайдалану экономикалық тұрғыдан тұрақты, экологиялық таза және мұнай өнімдерін алмастыратын көміртегі түзілуін азайтуға қабілетті екенін көрсетті.

Түйінді сөздер: Биобайланыстырғыштар, битум, модификатор, қалдық, өсімдік майының қалдығы.

ABSTRACT

Binder modification with waste sunflower oil for road materials indicates the adoption of environmentally sensitive recycling practices, which improves the proper management of these wastes.

This work provides a critical review of the use of waste sunflower oil as a rejuvenator for the restoration of asphalt pavements. The introduction focused on the use of biomaterials to partially or completely replace petroleum-based asphalt binders. The experimental part presents the main characteristics of the raw material - waste sunflower oil; its group composition is studied using IR spectroscopy; and also describes a method for using waste sunflower oils as a rejuvenator for regenerated asphalt pavements. The third part of the article presents the results of a study of the effectiveness of rejuvenators in restoring the original properties of bitumen binders. Studies have shown that the use of waste sunflower oils is economically sustainable, environmentally friendly and capable of reducing carbon formation as a replacement for petroleum products.

Keywords: Biobinders, bitumen, modifier, waste, waste vegetable oil.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
Литературный обзор	8
1 Биополимеры	8
1.1 Поли-3-гидроксибутират-ко-3-гидроксивалерат (ПГБВ)	8
1.2 Натуральный каучук	9
1.3 Ацетилцеллюлоза	10
2 Био-масла	17
3 Биоматериалы, получаемые из отходов	19
3.1 Отработанное масло для жарки	20
4 Экспериментальная часть	21
4.1 Материалы	21
4.1.1 Модификатор для битума	21
4.1.2 Битум и регенерированное асфальтовое покрытие	22
4.2 Методика модификации битумных вяжущих	23
4.3 Методика исследования характеристик модифицированных битумов	23
4.3.1 Изучение влияния модификатора на характеристику битумных вяжущих	23
4.3.2 Методика проведения анализ SARA образцов битума до и после введения модификатора	23
4.3.3 Химические исследования с помощью инфракрасной спектроскопии (FTIR)	23
4.4 Методика изучения физико- механических характеристик	24
4.5 Исследование основных характеристик ОПМ в качестве реювенатора	
РАП	24
5 Результаты и их обсуждение	26
5.1 Исследование влияния модификатора на физико- механические свойства битумных вяжущих	26
5.2 Исследование влияния отработанных пищевых масел для восстановления свойств регенерированных асфальтовых покрытий	30
Заключение	33
Список использованной литературы	34

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных дорожно-строительных материалов, используемых в Казахстане, является органический вяжущий материал – битум. Его популярность связана с его способностью повышать прочность каменных материалов или грунтов, устойчивостью к воде, пластичностью. Однако несмотря на привлекательные эксплуатационные свойства битума, он все же подвергается износу от интенсивных транспортных нагрузок, увеличивающихся с каждым годом. В этой связи учеными по всему миру проводятся работы по повышению качества битумных вяжущих покрытий.

Стремление улучшить физико-химические свойства битумных вяжущих побудило исследователей по всему миру применить модифицирование данного материала как одно из путей решения проблемы износа дорожных покрытий.

В последние годы исследования в области биоматериалов выходят на передний план в связи с опасениями по поводу выбросов парниковых газов, глобального потепления, спроса на возобновляемые ресурсы и высокого потребления энергии в целом. Потребность в циркулярной экономике и экологической устойчивости также делает важным снижение нашей зависимости от невозобновляемых ресурсов и переход к альтернативным био-возобновляемым ресурсам для промышленных целей и обычной повседневной деятельности. Помимо экономических преимуществ использования биоматериалов, которые являются менее дорогостоящими и снижают энергозатраты, биоматериалы также являются экологически чистыми, поскольку они разлагаемы, возобновляемы и способствуют сохранению стратегических ресурсов. Известно, что биоматериалы также снижают парниковый эффект за счет сохранения. В асфальтовой технологии биоматериалы могут использоваться в различных областях: биоматериалы в теплых асфальтовых смесях, биоматериалы в восстановленном асфальтовом покрытии для омоложения старого битума, биовяжущие как частичная или полная замена битумных вяжущих и так далее.

Применение вяжущих веществ природного происхождения в асфальтовой промышленности зависит от цели исследования, в котором они используются. В некотором смысле биологические вяжущие материалы — это вещества биологического происхождения, которые служат адгезивом в асфальтовой смеси. Обычно в асфальтовой промышленности в качестве связующего используется битум, но в результате постоянных исследований в области материаловедения изучаются другие, более легко разлагаемые связующие вещества.

Различные типы биоматериалов имеют разные механизмы действия в битуме, и это позволяет в значительной степени охарактеризовать различные классы биоматериалов как добавки к битуму в зависимости от их эффекта. Био-масла, например, используются в качестве битумных флюсов, снижая вязкость битума и, в долгосрочной перспективе, увеличивая жесткость битумного асфальтового покрытия за счет процесса, называемого окислительной полимеризацией. Природные воски, находясь ниже точки плавления, повышают жесткость и эластичность битума, а выше точки плавления - снижают жесткость и повышают вязкость битума. Биополимеры, такие как полисахариды и натуральный каучук, модифицируют битум, изменяя его структуру, увеличивая диапазон пластичности битума. Наноматериалы, с другой стороны, часто улучшают прочность асфальтового конгломерата на растяжение, образуя прочные межмолекулярные сшивки в матрице битума, что в долгосрочной перспективе приводит к увеличению жесткости и прочности на растяжение уложенного асфальта.

С физико-химической точки зрения, данный механизм действия является общим результатом тонкого равновесия всех межмолекулярных взаимодействий и, следовательно, динамических процессов: полярных и неполярных взаимодействий, π -взаимодействий, взаимодействий Ван-дер-Ваальсовых и дисперсионных взаимодействий, возможных H-связей и т. д., причем все они оказывают свое влияние с определенной силой и в определенном масштабе длины, и их сочетание диктует сложность системы. В действительности, очевидно, что химический состав любого битума является ключевым элементом, определяющим его физические свойства: по аналогии с обратимыми мицеллами в микро-эмульсиях, где полярные органические домены стабилизированы и диспергированы в более неполярной матрице. Стабилизация полярных доменов на основе асфальтена имеет ключевое значение для определения структуры и свойств агрегатов в целом, даже если механизм стабилизации следует рассматривать как достаточно общий, включающий, помимо органических материалов, также неорганические комплексы, неорганические материалы и даже наночастицы.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Модифицирование битумного вяжущего может производиться многими добавками и соединениями, биологического происхождения, среди которых: биополимеры, био-масла, органические отходы, природные воски, наноматериалы на биологической основе. В данном обзоре литературы обсуждаются биоматериалы, их потенциал и эффективность при улучшении свойств битумного вяжущего.

1 Биополимеры. Биополимеры представляют собой полимерные вещества, которые являются биоразлагаемыми независимо от формы, в которой они находятся (волокна, порошки, гранулы и т. д.) и происходят из клеток живых организмов. Биоразлагаемость биополимеров зависит от их происхождения и химической структуры в сочетании с условиями разложения окружающей среды.

1.1 Поли-3-гидроксибутират-ко-3-гидроксивалерат (ПГБВ). Недавние разработки в области биополимеров показали многообещающие результаты, когда поли-3-гидроксибутират-ко-3-гидроксивалерат (ПГБВ) использовался в качестве замены полимеров на основе сырой нефти [1]. ПГБВ естественным образом вырабатывается многими микроорганизмами, которые размножаются на очистных сооружениях [2]. Эти микроорганизмы можно собирать из городских сточных вод и экстракта ПГБВ, извлеченного из микроорганизменной биомассы [3]. ПГБВ является наиболее изученным полиэфиром семейства полигидроксиалканоатов (ПГА). ПГБВ состоит из двух мономеров: 3-гидроксибутират (ГБ) и 3-гидроксивалерат (ГВ), химическая структура полимера показана на рис. 1

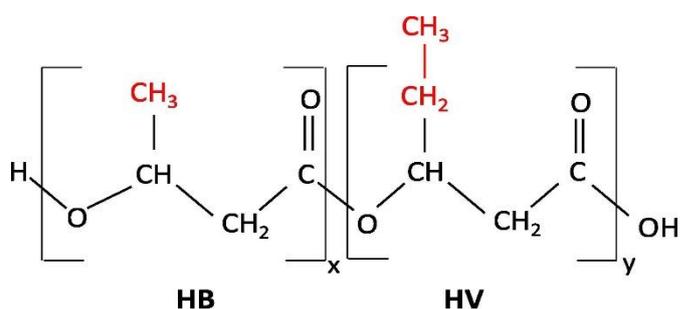


Рис. 1 Химическая структура ПГБВ

Физические свойства ПГБВ (низкая температура плавления и низкая вязкость) делают его потенциальным заменителем материалов на биологической основе для продуктов на основе сырой нефти, которые в настоящее время используются при разработке смесей для асфальтовых покрытий.

А. Tabacovic, J. Lemmens и их коллеги описали в своей научной статье [4] как ПГБВ, сополимер биологического происхождения, может быть использован в качестве альтернативного модификатора битума. Было исследовано влияние ПГБВ на 70/100pen. Химическое и физическое влияние ПГБВ на характеристики битума исследовали с помощью гель-хроматографии, инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье, дифференциальной сканирующей калориметрии, микроскопической визуализации и испытаний с помощью реометра динамического сдвига. Результаты показывают, что ПГБВ имеет значительный потенциал в качестве модификатора биополимеров битума.

1.2 Натуральный каучук. Натуральный каучук — еще один важный биополимер, используемый в технологии асфальта и материаловедении в целом. Природный каучук представляет собой био-эластомер, который получают из латекса (сока) деревьев вида *Hevea brasiliensis*. Натуральный каучук в чистом виде состоит из органического соединения полиизопрена, воды, смол и некоторых примесей. Натуральный каучук встречается в виде сока — липкой, похожей на молоко жидкости, представляющей собой коллоидную дисперсию молекул полиизопрена, суспендированных в водной среде [5]. Этот природный полимер — широкодоступное многоцелевое вещество, которое используется в производстве ряда товаров, таких как шины, воздушные шары, перчатки и матрасы. Его термические и вяжущие свойства обусловили его использование для улучшения свойств битумного вяжущего в асфальтовых покрытиях [6]. Благодаря двойным связям, присутствующим в повторяющихся звеньях натурального каучука, он легко подвергается сшиванию или вулканизации, что является свойством, которое желательно для асфальтовых смесей; однако, чтобы обладать стабильной эластичностью, резиновые изделия должны иметь трехмерно структурированные сетки [7]. В этом заключается идея включения натурального каучука в асфальтовые смеси. Эластичные свойства натурального каучука обусловлены его высокой степенью растяжения и упругостью благодаря гибкой полиизопреновой цепи, содержащей аморфную массу спиральных структур. Эта полиизопреновая цепь ведет себя как линейная цепь при приложении нагрузки, а затем сжимается и возвращается в прежнее состояние [8]. Химическая структура изопрена показана на рисунке 3.

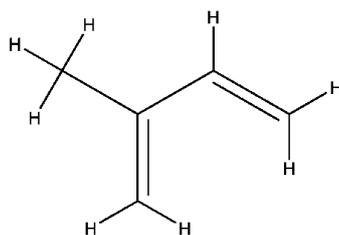


Рис. 2 Химическая структура изопрена

Еще одним полезным свойством натурального каучука является его способность кристаллизоваться при охлаждении при низких температурах или при приложении деформации в определенном направлении. Кристаллизация в охлажденной резине ограничивает движение между соседними молекулярными цепями, что приводит к существенному увеличению прочности на разрыв [9]. Было доказано, что в холодную погоду натуральный каучук предотвращает образование трещин, сохраняя при этом жесткость битума, образуя в битумной смеси своего рода эластичную ленту. При более высоких температурах натуральный каучук действует как пленка, улучшающая сопротивление сдвигу, что, в свою очередь, увеличивает вязкость битума [10]. М. G. Krishnapriya в исследовании [11] продемонстрировал, что битумные смеси, модифицированные 2% природного каучука по массе битума, демонстрируют превосходную устойчивость к образованию колеи, а также улучшенный модуль упругости и усталостную долговечность. В том же году E. Shaffie и др. сообщили в своем исследовании, что битумные смеси, содержащие 8% каучука по весу битума, демонстрируют лучшую устойчивость к явлению расслоения [12]. В целом доказано, что каучук природного происхождения благодаря своей усталостной стойкости, хорошей прочности на разрыв и более высокой стабильности способен продлить стабильность и долговечность асфальтовых покрытий. Натуральный каучук также имеет экономическое преимущество благодаря своей низкой стоимости и практичности в некоторых его различных формах; однако для некоторых применений в битумных смесях его, возможно, придется слегка модифицировать, чтобы сохранить сам латекс натурального каучука [10, 13].

1.3. Ацетилцеллюлоза. Ученые в своей статье [14] выявили, что температурная чувствительность битума, модифицированного ацетилированной микрофибриллированной целлюлозой (MFCac), значительно снижается как в диапазоне низких, так и высоких температур. Комплексный модуль сдвига при содержании MFCac 2 мас. % был в 10 раз выше, чем у битума без добавок. Кроме того, фазовый угол при высоких температурах указывает на увеличение упругости, что приводит к благоприятным свойствам в отношении колеи. При низких температурах (-25 °C) деформация до разрушения в испытаниях на вязкость разрушения была примерно в 100 раз выше для битума, модифицированного MFCac, чем для не модифицированного, в то время как усилия разрушения были одинаковыми.

Материалы, используемые в работе:

Химические вещества: Уксусный ангидрид, пиридин и диметилформамид (ДМФ) использовались в том виде, в котором они были получены, а также толуол, этанол и ацетон технического качества.

Волокна: Порошок ацетата целлюлозы (СЛас) со средней $M_n \sim 50\,000$ г/моль, $\sim 39,7$ мас. % ацетилирования и плотностью = $1,3$ г/см³ был приобретен у компании Sigma Aldrich и использовался по мере поступления. Волокна целлюлозы, не содержащие элементарного хлора (ЕСФ), из отбеленных волокон целлюлозы на основе хвойных пород древесины (*Picea abies* и *Pinus spp.*) диаметром около 50 мкм от Stendal, Берлин, Германия. Суспензии микрофибриллированной целлюлозы (МФС) были получены и охарактеризованы согласно Josset et al. Вкратце, водная суспензия волокон целлюлозы ЕСФ была измельчена при концентрации 2 мас. % с помощью сверхтонкой фрикционной кофемолки "supermasscolloider" (МКЗА10-20J SE, Masuko Sangyo Co. Ltd., Kawaguchi/Saitama, Япония). Энергозатраты на измельчение составляли 9 кВт-ч/кг сухого МФЦ.

Битум: использовались три битума прямого отжима со степенью пенетрации 40/50, 70/100 и 160/220. При этом 40/50 был самым твердым, а 160/220 - самым мягким битумом.

В ходе работы волокна целлюлозы МФС и ЕСФ были подвергнуты реакции с уксусным ангидридом по методике P. Tingaut et al. [15]. Реакцию проводили при 105 °С с тремя различными временами реакции 40, 120 и 240 мин. Реакцию проводили при 105 °С с тремя различными временами реакции 40, 120 и 240 мин. Полученные ацетилированные волокна, МФСас и ЕСФас, соответственно, хранили в толуоле. Реакция ацетилирования показана на рис. 3.

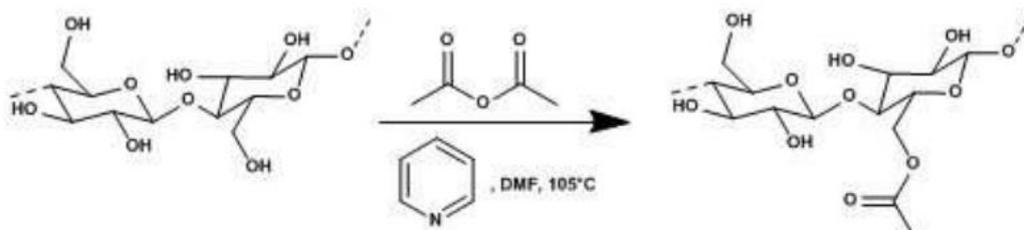


Рисунок 3. Ацетилирование целлюлозы уксусным ангидридом в диметилформамиде (ДМФ) при 105 °С с использованием пиридина.

Смешивание не ацетилированных МФЦ, ацетилированных МФЦ (МФСас), ацетилированных ЕСФ (ЕСФас) целлюлозных волокон и ацетата целлюлозы (СЛас) с битумом. Смешивались различные количества не модифицированного МФЦ в воде, МФСас в толуоле, ЕСФас в толуоле и порошок СЛас с битумом в металлическом контейнере. Для сравнения использовались ЕСФас и СЛас. Контейнер с примерно 100 г связующей смеси оставляли в печи при 130 °С на 15 мин с крышкой, чтобы размягчить его для процедуры смешивания. Для того чтобы способствовать испарению воды или толуола, смеси перемешивали в течение 3 мин при 3500 об/мин с помощью

скоростного миксера. После этого смесь снова помещали в печь при 130 °С на 15 мин и перемешивали в течение 1,5 мин при 3500 об/мин. Эту операцию повторяли до тех пор, пока вся вода или толуол не испарялись, что контролировалось путем измерения уменьшения массы с течением времени. Вся процедура заняла 2 часа. В случае с CLас порошок добавлялся непосредственно в битум, и этап перемешивания в скоростном миксере длился всего 3 минуты при 3500 об/мин. После этого контейнер поместили в печь при температуре 130 °С на 2 часа, чтобы воспроизвести одинаковые тепловые условия для всех смесей.

Характеристика волокон. Удельную площадь поверхности МФЦ определяли по теории Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ) в соответствии с процедурой, описанной Josset S. и др [16] для аэрогелей, приготовленных сверхкритической сушкой в CO₂. Вкратце, МФЦ в воде переводили в этанол путем 3 этапов редиспергирования центрифугированием. Затем дисперсию МФЦ в этаноле фильтровали в вакууме. Полученный МФЦ высушивали в сверхкритических условиях. Для оценки морфологии волокон до и после ацетилирования использовали сканирующую электронную микроскопию (СЭМ). Для проведения СЭМ-экспериментов дисперсию волокон в толуоле готовили путем разбавления до концентрации 0,05 мас. % в этаноле и нанесения капли дисперсии на идеально плоскую слюдяную пластину. После сушки в течение ночи в печи при 105 °С образцы покрывались пленкой платины толщиной 7 нм с помощью распылителя Baltex Med020. Прибор FEI Nova NanoSEM 230 (FEI, Hillsboro, OR) использовался при ускоряющем напряжении 5 кВ и рабочем расстоянии 5 мм.

Для оценки степени ацетилирования волокон ECFас использовали измерения твердотельного ядерного магнитного резонанса углерода в соответствии с методикой Zhang и др [17].

Для проверки и оценки степени ацетилирования MFCас использовали измерения методом полного отражения в инфракрасном диапазоне с преобразованием Фурье (ATR-FTIR). Небольшое количество дисперсии волокон в толуоле высушивали в течение ночи в печи при 105 °С. Образцы анализировали при комнатной температуре на приборе Tensor 27 компании Bruker. Спектры регистрировались в диапазоне 4000-600 см⁻¹ с разрешением 4 см⁻¹, и каждый конечный спектр представлял собой накопление 32 спектров. Термогравиметрический анализ (ТГА) использовался для изучения термической стабильности волокон. Небольшое количество дисперсии волокон в толуоле было высушено в течение ночи в печи при 105 °С. Затем около 10 мг высушенных волокон нагревали от 30 до 700 °С при скорости нагревания 20°С/мин в атмосфере N₂ в стандартном термогравиметрическом

анализаторе TG 209F1 Изотермические измерения также проводили на воздухе и при 180 °С в течение 4 часов.

Результаты и обсуждения. Смеси MFCac, ECFac и CLac с битумом. Было замечено, что немодифицированный MFC не может быть однородно смешан с битумом, что проявляется в образовании комков волокон в смеси, видимых невооруженным глазом. Напротив, MFCac, ECFac и CLac смешивались с битумом однородно, т.е. без видимых комков. Поэтому реологическая характеристика была проведена только для однородных смесей битума с MFCac, ECFac и CLac. Колебательные измерения показали значительное влияние добавления MFCac в битум на комплексный модуль сдвига, фазовый угол и вязкость. Эффект зависел от содержания волокон, частоты колебаний и температуры. Максимальное содержание волокон составляло 2 мас. %, при котором получалась работоспособная смесь. При превышении этого значения вязкость значительно возрастает, и однородность при используемом способе смешивания не может быть обеспечена. В результате в битум были добавлены 1 и 2 мас. % MFCac с различной степенью ацетилирования.

Влияние содержания MFCac. На рисунке 4 показан эффект от добавления 2 мас. % MFCac₁₁ с помощью «мастер-кривых» для $|G^*|$ и δ .

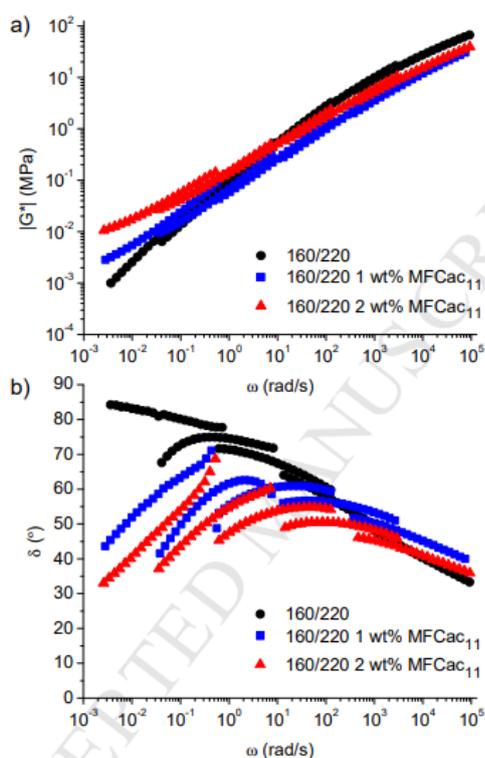


Рисунок 4. а) $|G^*|$ и б) δ в зависимости от угловой частоты для температурного диапазона 0 - 40°С для битума 160/220 в отдельности и с содержанием 1 и 2 масс. % MFCac₁₁.

Основные кривые $|G^*|$ и δ на рисунке 4 показывают увеличение эффекта с увеличением количества МФСас₁₁ с 1 до 2 весовых процентов (или с 0,7 до 1,3 весовых процентов при плотности битума 1 г/см³ и плотности целлюлозы 1,5 г/см³ 240). $|G^*|$ смеси, содержащей 1 весовой процент МФСас₁₁, в 2 раза выше, чем у одного битума для угловой частоты 10-2 рад/с;

Кроме того, $|G^*|$ в 2 раза ниже, чем у битума, для высокой частоты 10⁴ рад/с. Однако для смеси, содержащей 2 весовых процента МФСас₁₁, эффект сильнее при более низких частотах. При низких частотах и немного более высоких температурах, соответствующих 30-40 °С, $|G^*|$ для смесей с 2 весовыми процентами МФСас₁₁ увеличивается до 10 раз по сравнению с битумом 160/220. С практической точки зрения это свидетельствует о возможности снижения колейности, возникающей при высоких температурах в асфальтобетонных покрытиях. При высоких частотах, представляющих температуру ниже 20 °С, $|G^*|$ примерно в 2 раза ниже, чем без МФСас, что благоприятно для предотвращения растрескивания при низких температурах. Влияние на температурную чувствительность было качественно одинаковым для различных типов битума (40/50, 70/100 и 160/220). Однако более сильное снижение $|G^*|$ при низких температурах было заметно, в частности, для более мягкого битума 160/220. Примечательно, что все "мастер-кривые" имели схожую форму для вяжущих, модифицированных МФСас, демонстрируя уплощение кривой по сравнению с не модифицированным битумом. Следовательно, МФСас сделал битум менее восприимчивым к температуре.

Повышение жесткости смесей при высоких температурах можно объяснить эффектом наполнителя, обеспечиваемым волокнами, и более сильным взаимодействием между волокнами и битумной матрицей вследствие гидрофобной модификации волокон. Фазовый угол δ является показателем степени вязкоупругости материала, поскольку чисто ньютоновские вязкие материалы имеют δ , равный 90°, в то время как упругие твердые тела имеют δ , равный 0°. Как показано на рисунке 3b, форма основной кривой δ для модифицированных связующих сильно отличается в области низких частот (высоких температур) от формы кривой для неочищенного связующего. В то время как фазовый угол неочищенного связующего увеличивается и приближается к 90° с повышением температуры, фазовый угол модифицированного связующего уплощается при промежуточных температурах, а затем уменьшается при высоких температурах. Увеличение фазового угла указывает на то, что вязкая часть комплексного модуля G'' выше, чем упругая часть G' . Результаты показывают, что модифицированные связующие ведут себя более упруго, чем немодифицированные, что свидетельствует о положительном эффекте при высоких температурах. Подобная тенденция наблюдается и в других типах модифицированных вяжущих, например, в модификации СБС [18].

Влияние степени ацетилирования. На рис. 5 показано влияние степени ацетилирования на "основные кривые" $|G^*|$ и δ .

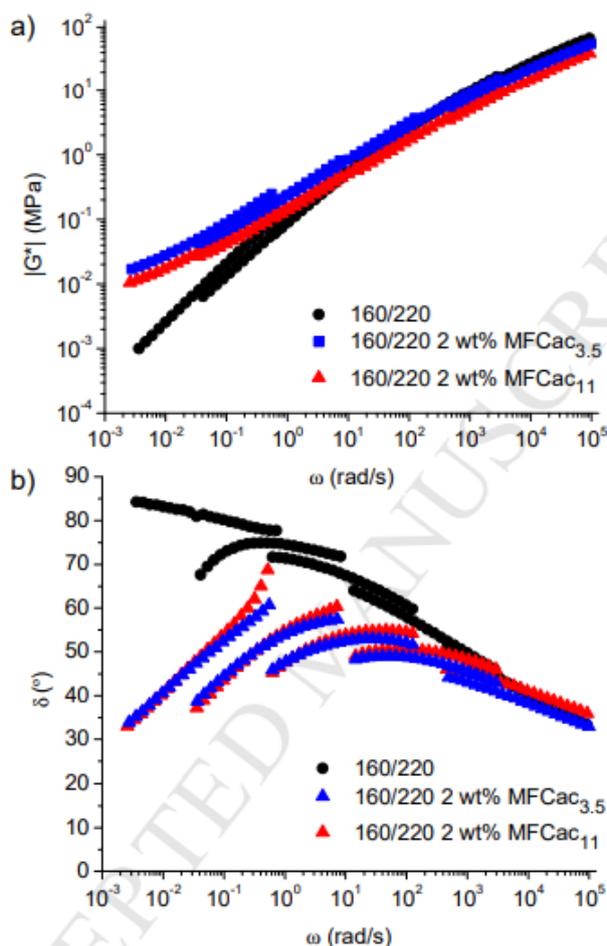


Рис. 5 а) $|G^*|$ и б) δ в зависимости от угловой частоты для диапазона температур 0 - 40°C для битума 160/220 отдельно и с 2 мас. % MFCac_{3,5} и MFCac₁₁.

На рисунке 5 видно, что разница между материалами с MFC с разной степенью ацетилирования невелика. Например, для смеси с MFCac₁₁ значение $|G^*|$ лишь примерно в 1,5 раза выше, чем для смеси с MFCac_{3,5} во всем диапазоне частот. Одной из причин этого может быть то, что с точки зрения эффективной дисперсии фибрилл в битумной матрице не происходит улучшения от 3,5 до 11 % ацетилирования и/или то, что большее количество ацетилирования означает большее агломерации волокон [15].

Сравнение между смесями с 1 весовым процентом MFCac, ECFac и СЛас. На Рисунке 4 и Рисунке 5 показано, что MFCac влияет на уплощение кривых $|G^*|$. Однако тип целлюлозного компонента также оказывает значительное влияние на $|G^*|$ и на δ как показано на рисунке 6 для битума 70/100.

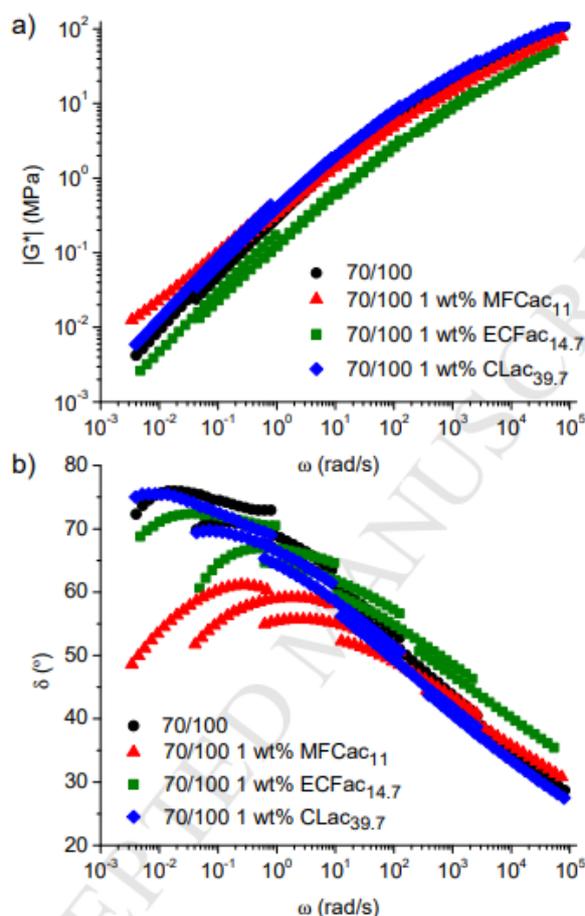


Рис. 6 а) $|G^*|$ и б) δ в зависимости от угловой частоты и для диапазона температур 0 - 40 °С для битума 70/100 отдельно и с 1 масс. % MFCac₁₁, ECFac_{14.8} и CLac_{39.7}.

В то время как CLac приводит к небольшому увеличению жесткости смеси по сравнению с битумом 70/100 при всех частотах, δ появляется при использовании MFCac₁₁, сохраняя эластичное поведение больше, чем другие связующие при более высоких температурах (рис. 6). Смеси с ECFac демонстрируют более низкий $|G^*|$ (примерно в 2 раза), чем для чистого битума 70/100 (рис. 6а). Интересно, что ECFac оказывает противоположное влияние на δ при высоких и низких частотах. При высоких частотах смесь становится мягче, чем битум, в то время как при низких частотах, соответствующих высокой температуре, смесь становится более жесткой по сравнению с битумом, хотя и не в такой степени, как в случае с MFCac.

Выводы. В результате исследования была описана модификация битума ацетилированной микрофибриллированной целлюлозой и проведена оценка влияния этой добавки на свойства битума. Показано, что ацетилированная микрофибриллированная целлюлоза позволяет модифицировать механические свойства битума иным способом по сравнению со стандартными добавками. Такая модификация механических свойств не могла быть

достигнута без химической модификации микрофибриллированной целлюлозы. Основные результаты приведены ниже:

-Температурная чувствительность механических свойств снижена.

-При 40 °С комплексный модуль упругости мягкого битума увеличился в 10 раз.

-При -25 °С деформация до разрушения в испытании на вязкость разрушения была в 100 раз выше.

-Ацетилированная микрофибриллированная целлюлоза увеличила комплексный модуль и уменьшила фазовый угол при более высоких температурах, сохраняя эластичное поведение и приводя к снижению восприимчивости к колееобразованию.

2 Био-масла. Масла представляют собой вязкие жидкости, получаемые из нефти и используемые в основном в качестве топлива или смазочных материалов. Благодаря разнообразной природе масел и изменчивости их составляющих, например, жирных кислот различной природы, масла обладают широким спектром вторичных применений и функций. Био-масла используют в качестве исходного материала биомассу, а не производные нефти. Эти масла получают с помощью быстрого нагревания биомассы в условиях вакуума [19]. Применение био-масел в материаловедении очень выгодно, поскольку они являются возобновляемыми, экологически чистыми и способствуют сохранению ресурсов благодаря широкому распространению [20]. Био-масла могут быть получены путем термохимического сжижения или пиролиза, причем последний метод является более экологичным, так как не требует тяжелого термического крекинга или гидрогенизации углеводородов [21].

Био-масла, полученные в результате пиролиза, в основном используются в качестве восстанавливающих средств для битума, поскольку содержат углеводороды, которые могут заменить углеродные, окисленные в результате старения битума [22]. Исследование 2022 года, проведенное Caputo и др. [23], показало, что био-масло, полученное в результате пиролиза, обладает антиоксидантными свойствами и способно восстанавливать состарившийся битум благодаря химическому сходству углеводородов, присутствующих в био-масле, и углеводородов, присутствующих в битуме, разрушенном в результате окислительного старения. Их исследование показало, что модификация битума пиролизным маслом в количестве 2 % по весу восстанавливает свойства состаренного битума до состояния, аналогичного состоянию нестаряющегося первичного битума. Углеводородная природа углеводородов био-масла обеспечивает усиленный омолаживающий эффект, восполняя истощенные углеводороды в битуме за счет адсорбции и

других химических взаимодействий, которые все еще находятся в стадии изучения. Эффективность пиролизных масел в омоложении битума позволяет увеличить срок службы легко регенерируемых асфальтовых покрытий, способствуя тем самым сохранению ресурсов в условиях циркулярной экономики.

Общий химический механизм действия био-масел в битуме объясняется явлением, известным как окислительная полимеризация, которая приводит к сшиванию структурных единиц полиненасыщенных жирных кислот, обычно присутствующих в маслах [24]. Независимо от первоначального флюсующего и вязкостно-модифицирующего эффекта масел при их включении в битумную матрицу, большинство масел после застывания и сушки модифицированной битумной смеси вступают в реакции оксиполимеризации, которые впоследствии повышают прочность асфальтобетонной смеси на разрыв. Масла в целом содержат метиловые эфиры, и точность и эффективность полимеризации зависит от количества присутствующих двойных связей и их положения вдоль алифатической цепи жирной кислоты. Био-масла различаются по своему составу и, следовательно, имеют различное количество двойных связей, что влияет на реакционную способность каждого типа масла к оксиполимеризации [25].

Жирные кислоты, имеющие не менее двух двойных связей (полиненасыщенные), такие как линолевая и линоленовая кислоты, в изобилии содержатся в высыхающих маслах, подвергающихся воздействию воздуха. Мононасыщенные (олеиновая кислота) и насыщенные (стеариновая и пальмитиновая кислоты) кислоты также встречаются в маслах, но основным фактором, определяющим реакционную способность процесса полимеризации, является количество полиненасыщенных жирных кислот [26]. Чем выше количество этих полиненасыщенных жирных кислот, тем выше реакционная способность оксиполимеризации. Различные жирные кислоты, которые можно найти в различных растительных маслах, перечислены в Таблице 2 с указанием их процентного содержания. Сшивание структурных единиц жирных кислот в масле посредством оксиполимеризации происходит в результате двух основных реакций. Первая – это окисление метиленового углерода с образованием гидроперекисей в результате реакции радикалов с молекулярным кислородом. Вторая реакция – разложение гидропероксидов до алкоксильных радикалов. Последующее сшивание происходит путем присоединения радикалов к сопряженным двойным связям с образованием более высокомолекулярных соединений в виде эфирных, алкильных и пероксильных мостиков [27]. Такое сшивание приводит к увеличению прочности уложенного асфальта на разрыв. Крол и др. [24] сообщили, что содержание растительных масел в битумных смесях в количестве 3,75-5 %

является оптимальной дозировкой для эффективного повышения жесткости и долговечности битумного вяжущего.

3. Биоматериалы, получаемые из отходов. Производственные отходы являются основным источником разлагаемых биоматериалов, которые находят разнообразное применение. В исследовании, проведенном Пересом и др. [28], жидкие промышленные отходы, богатые биополимером лигнина, использовались в качестве добавки к битуму для асфальтобетонных смесей. Они протестировали эти отходы в качестве частичного заменителя битума в асфальтовой смеси, соединив их в разных пропорциях с битумом, чтобы определить, какая пропорция смеси битума и отходов способна обеспечить высокое качество и производительность асфальтовой смеси. Результаты исследования показали, что асфальтовые смеси, содержащие 20 % промышленных отходов, обладают оптимальными характеристиками, и что промышленные отходы идеально подходят для использования в качестве битумного экстендера в асфальтовых смесях. Было показано, что богатые лигнином промышленные отходы улучшают влагостойкость, термостойкость и сцепление битума с асфальтобетонной смесью. Стоит также отметить, что использованные промышленные отходы не подвергались никаким процессам преобразования и использовались как есть. Это представляет собой огромный шаг на пути к устойчивому развитию и циркулярной экономике, а также является эффективной инициативой по сохранению ресурсов. Другое исследование, проведенное Капуто и др. [29], показало, что органическая фракция городских бытовых отходов, подвергнутых процессу FENTON, может быть использована в качестве добавки для битумных смесей. Органические бытовые отходы, состоящие в основном из целлюлозы, жирных кислот и среднемолекулярных углеводородов, были обработаны раствором сульфата железа и перекиси водорода и, как оказалось, улучшили некоторые свойства битума. Результаты исследования показали, что эта добавка, полученная из органических отходов, в дозировке 2 % по массе вяжущего может использоваться в качестве наполнителя и вязкотекучего агента для битума. Еще одна экологическая инициатива была представлена в исследовании, проведенном Каландрой и другими [30], в котором они оценили влияние отходов горнодобывающих процессов на характеристики битумных смесей. Отходы (хвосты горных работ), образующиеся при добыче марганцевой руды, были переработаны в порошок и использованы в качестве наполнителя для битума в дозировках 1, 3, 5 и 10 % (масс./масс.). Результаты исследования показали, что битумные смеси, содержащие добавку в дозировке 10 %, обладают повышенной устойчивостью к нагрузкам, колееобразованию и усталости, а также устойчивостью к старению. Дорожные покрытия, полученные из этих смесей, также обладают повышенной долговечностью. Эффективность наполнителя является следствием благоприятных полярных

взаимодействий между асфальтенами и смолами битума и поверхностью неорганических частиц через гидроксильные группы оксидов и гидроксидов оксидов металлов отходов горнодобывающей промышленности. Более широкое применение этих инициатив по переработке и повторному использованию отходов в промышленных процессах будет способствовать внедрению экологически чистых методов в асфальтовой промышленности.

3.1. Отработанное масло для жарки. В исследовании [31], отработанное масло для жарки (ОМЖ) используется в качестве модификатора для модификации битума. В результате, при добавлении ОМЖ в битум, оптимальное содержание вяжущего в смеси снизилось с 5,125% до 4,575%. Таким образом, дороги, построенные с использованием битума, модифицированного ОМЖ, являются устойчивыми благодаря снижению содержания битума в смеси. Кроме того, температура размягчения модифицированного битума снижается (до 82%), в то время как значение пенетрации увеличивается (до 240%) за счет модификации битума с помощью ОМЖ. Коэффициенты прочности на разрыв модифицированных все образцы асфальта превышают минимальный предел, установленный спецификацией - 80%. Наконец, необходимая температура для быстрого самовосстановления снижается при модификации битума с ОМЖ. Образцы, приготовленные с использованием модифицированного битума, восстанавливаются быстрее, чем контрольные образцы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

4.1 Материалы

4.1.1 Модификатор для битума

Традиционно продукты сырой нефти использовались в качестве модификаторов битума (смягчителей и укрепителей) при производстве асфальта. Нынешнее стремление повысить устойчивость асфальтовой промышленности стимулирует исследования материалов на биологической основе [32]. Исследования [33, 34] показали, что растительные масла, богатые ненасыщенными жирными кислотами, предпочтительнее, чем модифицирующие средства на основе нефти.

Экспериментальные значения показателя преломления, плотности и динамической вязкости, а также кислотного числа растительных масел представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики масел

Образец растительного масла	Плотность, кг/м ³	Динамическая вязкость, мПа*с	Показатель преломления	Кислотное число, мг КОН/г
подсолнечное	921	56,8	1,471	0,4
отработанное подсолнечное	925	59,5	1,484	1,1

Для исследуемого образца подсолнечного масла отмечается значение кислотного числа 0,4, что серьезно увеличивается в результате его использования до 1,1 мг КОН/г, что в свою очередь является показателем содержания в масле свободных жирных кислот, образующихся при приготовлении пищи под действием паров воды.

В качестве модификатора было выбрано отработанное подсолнечное масло, которое использовалось после жарки (рисунок 7). Выбор модификатора обусловлен наличием сырья, производственных площадок, конкурентоспособной ценой, большими объема производства и пользования, а также физико-химическими свойствами.



Рисунок 7 – Отработанное подсолнечное масло (ОПМ)

Перед применением отработанное подсолнечное масло подвергали фильтрации с помощью воронки с фильтровальной бумагой.

4.1.2 Битум и регенерированное асфальтовое покрытие

В данном исследовании использовали битум марки БНД 70/100 (ТОО «ПНХЗ»), характеристика которой представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика битума [35]

Показатели	Величина
Пенетрация	73
Дуктильность	70
Температура размягчения	52

Для оценки эффективности модификации битума и возможности омоложения битумных вяжущих непосредственно в асфальтовых покрытиях нами были взяты образцы регенерированных асфальтовых покрытий (РАП). Образцы РАП (рисунок 8) получены фрезерованием верхнего слоя дорожного полотна на автомагистральном дорогах Алматинской области.



Рисунок 8 – Регенерированное асфальтовое покрытие (РАП)

Агрегат РАП сначала сушили на воздухе при комнатной температуре в лаборатории при $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ в течение 24 часов, а затем помещали в

термостатируемую печь при 40°C на 24 часа, а затем хранили в герметичных контейнерах для дальнейшего использования.

4.2 Методика модификации битумных вяжущих

Смешивание битума с модификатором осуществляли с помощью магнитной мешалки с подогревом. Количество вводимого модификатора составляло 3, 5, 7, 10 и 12% от массы битума.

Перед смешиванием битум и РАП нагревали в емкости до 140°C, затем вводили модификатор и проводили смешивание в течение 15 мин при 140°C.

4.3 Методика исследования характеристик модифицированных битумов

4.3.1 Изучение влияния модификатора на характеристику битумных вяжущих

С целью определения эффективности модификаторов определяли следующие физические свойства: вязкость при 60 °C (ГОСТ 32191—2013), температуру размягчения (ASTM D36), пенетрацию (ГОСТ 11501-78) и дуктильность (ГОСТ 11505-75).

4.3.2 Методика проведения анализ SARA образцов битума до и после введения модификатора

Определение химических групп углеводородного типа проводили методом комбинированной экстракции растворителем, а для характеристики образцов битума использовали жидкостную адсорбционную жидкостную хроматографию. Для определения количества асфальтенов 50 мл н-гептана добавляют к 1,2 г пробы битума при постоянном перемешивании. Растворение образца проводили с помощью ультразвука. Выпавшие асфальтены фильтровали и экстрагировали в аппарате Сокслета горячим н-гептаном для удаления маслянистых веществ, парафинов и церезинов, выпавших в осадок вместе с асфальтенами.

Смолы разделяли с помощью колоночной хроматографии на оксиде алюминия, применяя толуол в качестве подвижной фазы. Ароматические соединения отделяли от предельных углеводородов на силикагеле и н-гептане в качестве подвижной фазы.

4.3.3 Химические исследования с помощью инфракрасной спектроскопии (FTIR)

Основной механизм инфракрасной спектроскопии заключается в том, что луч инфракрасного излучения проходит через образец, а спектрометр анализирует прошедшее излучение. Спектр проходящего излучения (коэффициент пропускания или поглощения) показывает поглощенное

излучение на определенных длинах волн. Это поглощенное излучение на определенной длине волны соответствует поглощению, обусловленному вибрацией или вращением конкретной химической связи, когда частота вибрации (или вращения) связи совпадает с частотой приложенного радиационного излучения.

Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (FTIR) — это быстрый и мощный метод определения химического состава битума [36]. Для оценки химических изменений в образцах битума на разных стадиях старения обычно определяют характерные пики и области FTIR-спектров, такие как сульфоксиды, карбонилы, алифатичность и ароматичность [37].

ИК-спектры образцов битума до и после его модификации проводили на приборе ALPHA II в диапазоне $4000 - 500 \text{ см}^{-1}$.

4.4 Методика изучения физико-механических характеристик

В данном исследовании описываются попытки производства горячей асфальтобетонной смеси (НМА) полностью из переработанного материала вторичного асфальтового покрытия (РАП), в составе которых имеется битумное вяжущее.

Модификацию РАП с ОПМ в различных соотношениях (3, 5, 7, 10 и 12%) осуществляли при постоянном перемешивании и подогреве до 160°C , смешивание проводили в течение 30 минут (рисунок 9).



Рисунок 9 – Проведение смешивания РАП и модификатора

4.5 Исследование основных характеристик ОПМ в качестве реювенатора РАП

Основные процедуры испытаний включали изготовление лабораторных образцов и определение эксплуатационных свойств испытуемых смесей ГМА.

На рисунке 10 представлен образец полученный при смешивании РАП с отработанным подсолнечным маслом.



Рисунок 10 – Образцы РАП

Исследование основных эксплуатационных характеристик образцов РАП до и после введения модификатора проводились в условиях АО «КазДорНИИ», а именно:

устойчивость к колейности согласно EN 12697-22:2008 - 10 000 проходов колеса при температуре 60°C,

жесткость согласно EN 12697-26:2012 – испытание проведено на балке с 4-точечным изгибом при температуре 10°C, частоте 10 Гц и микродеформации 50,

устойчивость к усталости согласно EN 12697-24:2012 – испытание проведено в аппарате с 4-точечным изгибающим устройством, при 10°C, частоте 10 Гц и микродеформации 130,

чувствительность к воде согласно EN 12697-12:2008 – соотношение между непрямой прочностью на разрыв, измеренной на образцах, кондиционированных в сухом состоянии, и образцах, кондиционированных во влажном состоянии.

Все результаты испытаний сравнивались с контрольной смесью. Контрольную смесь готовили из 100% исходного РАП без добавления каких-либо омолаживающих веществ, образцы готовили по той же методике, включая термический режим.

5. Результаты и их обсуждение

5.1 Исследование влияния модификатора на физико- механические свойства битумных вяжущих

Влияние эффективности модификатора на значения глубины проникновения проиллюстрировано на рисунке 11.

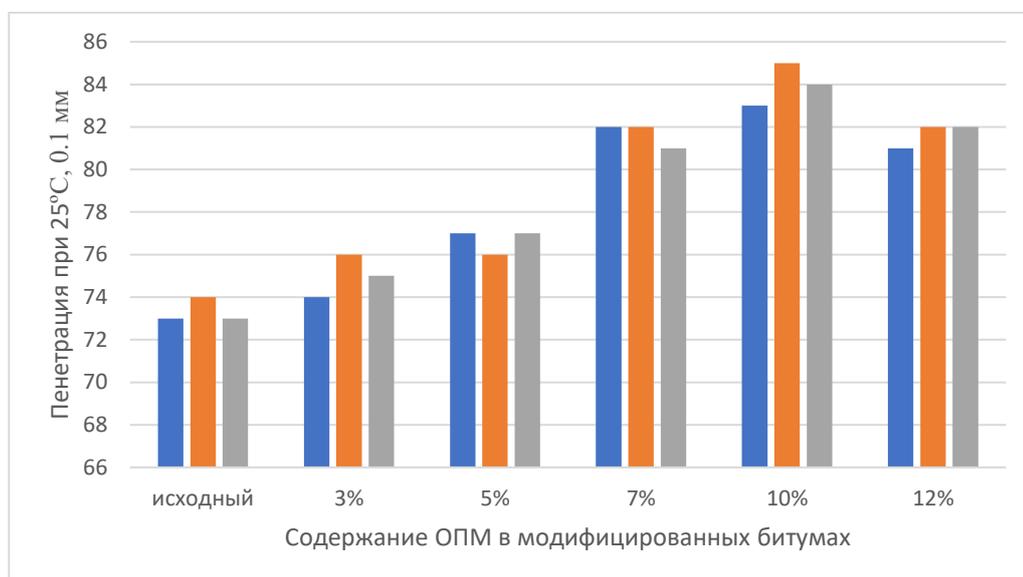


Рисунок 11 – Влияние концентрации модификатора на значения пенетрации

Из данных графика видно, что пенетрация битума линейно увеличивалась по мере увеличения количества ОПМ, достигая максимума при введении 7% модификатора. Увеличение пенетрации может быть обусловлено уменьшением соотношения асфальтенов и мальтенов [38, 39]. Установлено, что оптимальный процент ОПМ находится в диапазоне от 7 до 10%.

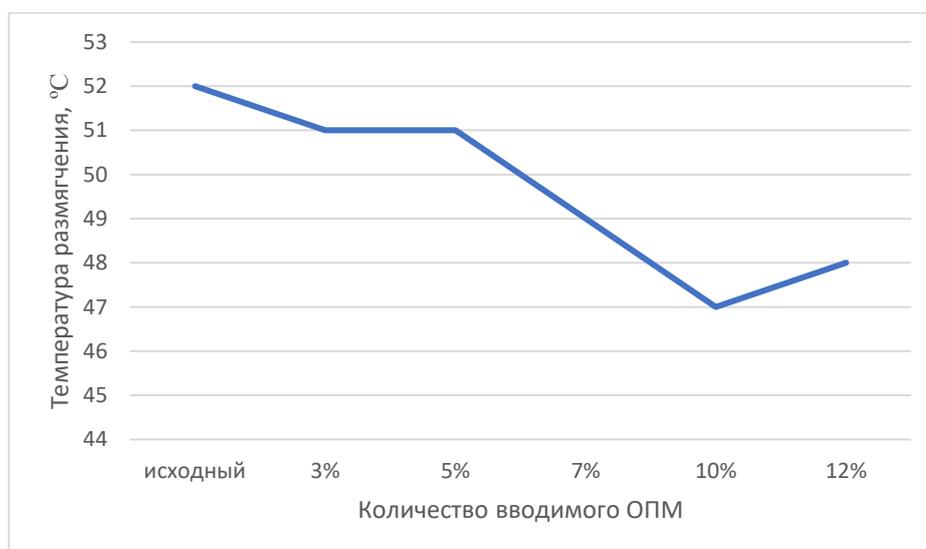


Рисунок 12 – Исследование влияния концентрации модификатора на температуру размягчения битумных вяжущих

На рисунке 12 показаны температуры размягчения исходного битума и его модифицированных форм, полученных при добавлении различного количества ОПМ.

Наблюдается снижения показателей температуры размягчения битума, что также может быть связано с изменением группового состава вяжущих и уменьшением высокомолекулярных компонентов (асфальтенов, мальтенов).

Рисунок 13 содержит данные по влиянию модификатора на вязкостные свойства битумных вяжущих. Отмечается снижение показателей вязкости после введения модификатора даже в количестве 3%. Максимальное снижение вязкости наблюдается при добавлении 10% ОПМ и снижается с 913 до 790 Па*с, соответственно.

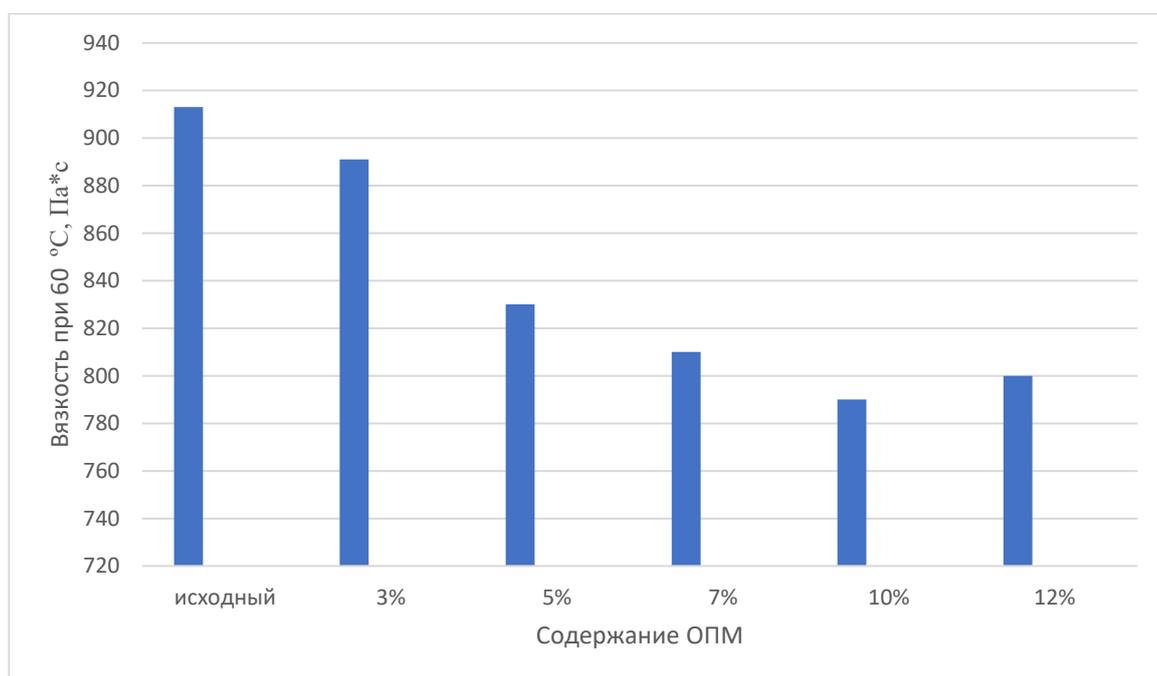


Рисунок 13 – Изменение вязкостных характеристик битума после модификации ОПМ

Результаты исследования влияния ОПМ на дуктильность битума представлены в виде графика на рисунке 14.



Рисунок 14 – Изменение дуктильности битумных вяжущих после ввода модификатора

Для анализа влияния химического состава на свойства битумов были определены групповой состав битумных вяжущих. Результаты исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3 - SARA-фракции в образцах битумной смеси до и после модификации

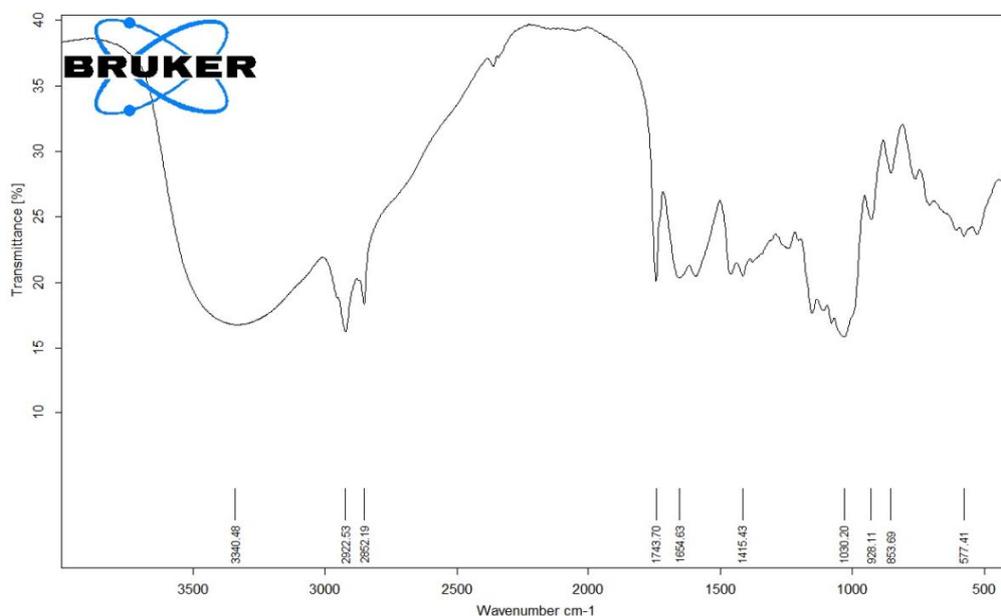
Компонент	исходное	Содержание ОПМ, %				
		3	5	7	10	12
Насыщенные	12.1	12.5	11.8	11.3	10.8	9.7
Ароматические	31.4	30.3	31.3	32.3	34.4	35.9
Смолы	37.2	39	39.1	39.6	38.4	38.6
Асфальтен	19.3	18.2	16.9	16.8	16.4	15.8

Результаты, представленные в таблице 4, предполагают, что введение модификатора на основе отработанных подсолнечных масел способствует снижению асфальтенов в составе битумных вяжущих. Отмечается, что с увеличением концентрации до 12 % содержание асфальтеновых углеводородов снижается с 19.3% до 15.8%. Известно, что базовый битум затвердевает преимущественно за счет увеличения асфальтенов [40], тогда как добавленный полимер может снизить его эффективность в результате деградации, заключающейся в уменьшении длины длинноцепочечные молекулы и частичное разделение существующих доменов [41].

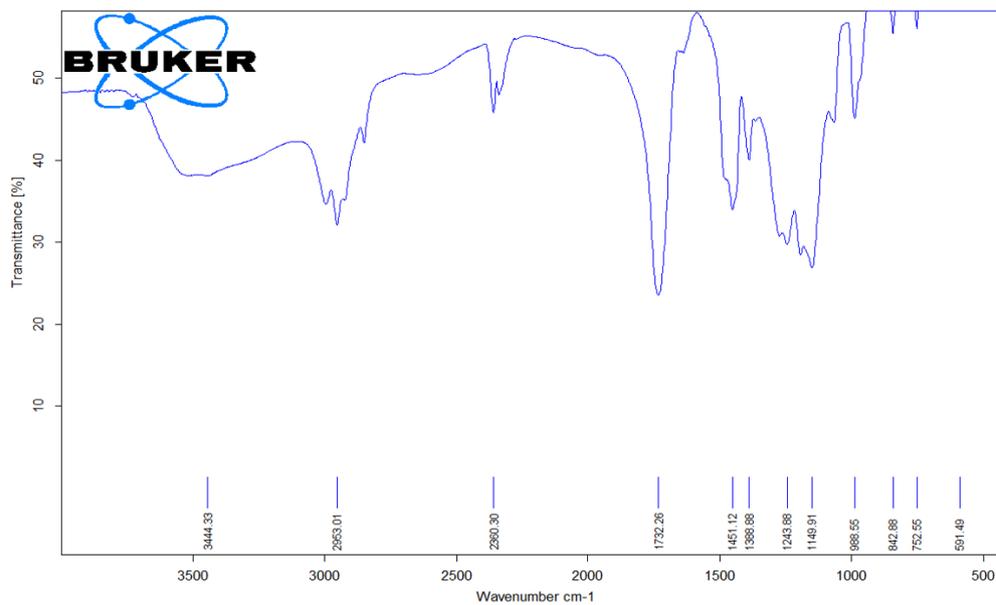
Важно отметить, увеличение смолистых компонентов с 37.2% для исходного битума до 39 % при модифицированном битуме с содержанием ОПМ в количестве 3% соответственно. Максимальное содержание смол

наблюдается для концентрации 7%, однако дальнейшее увеличение количества вводимого модификатора приводит к снижению смолистых компонентов и увеличению ароматических углеводородов в составе битумных вяжущих.

С целью исследования группового состава битумов до и после модификации отработанным подсолнечным маслом привлекли метод ИК-спектроскопии. Результаты исследований представлены на рисунке 15.



а



б

Рисунок 15 – ИК-спектры исходного битума (а), модифицированного битума с 5% ОПМ (б)

Характерными пиками для битумных вяжущих (рисунок 15) служат полосы поглощения сульфоксида при 1030 см^{-1} ; ароматических углеводородов при 1600 см^{-1} ; карбонила при 1700 см^{-1} .

Мониторинг изменения функциональных групп в процессе введения отработанных подсолнечных масел указывает на незначительные изменения интенсивности основных полос поглощения С-О и ОН- групп, однако изменений в структурных группах модифицированных битумов не наблюдалось. Однако для образца битума с ОПМ отмечается исчезновения пика в диапазоне 1600 см^{-1} , что согласуется с данными SARA-анализа, и может указывать на снижение содержания ароматических структур асфальтенов.

Повышенная полярность асфальтеновых групп усугубляет физическое старение, которое включает взаимодействие между полярными частицами и образуются агломераты (мицеллы), оказывающие дополнительное влияние на структурирование вяжущего [42]. Вместо золь-гель состояния битум переводится в золь-состояние, при котором взаимодействие мицелл увеличивает вязкость и жесткость битума [43].

На основании полученных результатов по воздействию отработанного пищевого масла на битумные вяжущие можно заключить, что модифицированные битумы характеризуются повышенной пластичностью, пониженной вязкостью. Авторы работ [44-46] связывают это введением маслянистых компонентов в мальтеновую фракцию, не сопровождающиеся изменением сложной структуры, а действующие в качестве смягчающих агентов и могут служить реювенаторами для восстановления первостепенных свойств битумных вяжущих в регенерированных асфальтовых покрытиях.

5.2 Исследование влияния отработанных пищевых масел для восстановления свойств регенерированных асфальтовых покрытий

Проблема использования вторичного сырья является одной из ключевых проблем современного дорожного строительства. Регенерированное асфальтовое покрытие (РАП) представляет собой отходы, образующиеся в результате фрезерования дорожных покрытий [47]. Для омоложения состаренного асфальта вводят новые вещества, содержащие нефтяные и смоляные фракций для восстановления доли функциональных групп. На молекулярном уровне эти продукты увеличивают расстояние между мицеллами, обращают вспять физические процессы (переориентируют молекулы), уменьшают вязкость битума и, в результате, уменьшают негативные последствия старения [48].

Перерабатываемый материал РАП, используемый для производства новых асфальтовых смесей, должен быть однородным по составу заполнителя, содержанию вяжущего, а также его параметрам. В данном исследовании была предпринята попытка применения отработанных пищевых масел для омоложения первостепенных свойств асфальтовых покрытий, результаты исследований представлены в таблице 4 на рисунках 15-17.

Таблица 4 – Влияние ОПМ на свойства РАП

Наименование показателя	исходный	3 %	5 %	7 %	10 %	12 %
Остаточная пористость, %	6,34	5,37	5,36	5,15	4,78	4,31
Водонасыщение, %, по объему	3	1,4	1,3	1,1	0,9	0,9

Результаты таблицы свидетельствуют о том, что ОПМ незначительно влияет на остаточную пористость РАП, при концентрации 3% наблюдается небольшое увеличение значения, однако с увеличением концентрации прослеживается дальнейшее снижение показателей пористости.

Водопоглощающие свойства играют важную роль в эксплуатационных характеристиках дорожного покрытия [49]. Особенно это актуально для РАП, так как характеристики заполнителей меняются после поглощения воды. Для первичного РАП отмечается водопоглощение 6,4 %, после введения 3 % ОПМ показатель снижается до 5,37%, дальнейшее увеличение концентрации приводит к снижению водонасыщения образца РАП и достигает показателя 4,34 % при концентрации ОПМ 12%. Таким образом, при введении отработанных подсолнечных масел в количестве 12 % для образцов РАП наблюдается снижение водонасыщения более чем на 30% и пористости почти в 3 раза, что свидетельствует об улучшении уплотнения асфальтовых покрытий.

Результаты испытаний РАП до и после обработки ОПМ на жесткость представлены на рисунке 16.

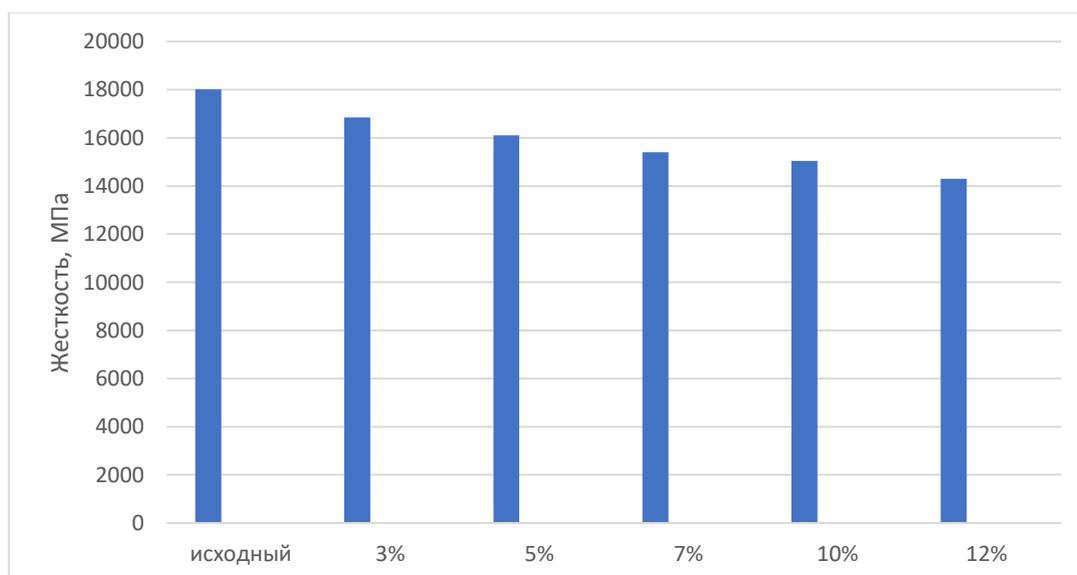


Рисунок 16 - Влияние отработанных подсолнечных масел на жесткость РАП

Наибольшие значения жесткости получены на образцах исходного РАП без добавления отработанных подсолнечных масел. При введении ОПМ наблюдается снижение жесткости образцов. Так, при добавлении 3% ОПМ наблюдается снижение жесткости на 1150 МПа, дальнейшее увеличение количества омолаживающего средства снижает жесткость смеси. Наивысшее снижение жесткости РАП наблюдается при введении 12% ОПМ, что подтверждает теорию о смягчающем эффекте отработанных масел и возможности восстановления пластичности битумных вяжущих в составе РАП.

О механическом сопротивлении образцов РАП можно судить по данным прочности на сжатие при температуре 20 и 50 °С. Данные исследований представлены в виде диаграммы на рисунке 17.

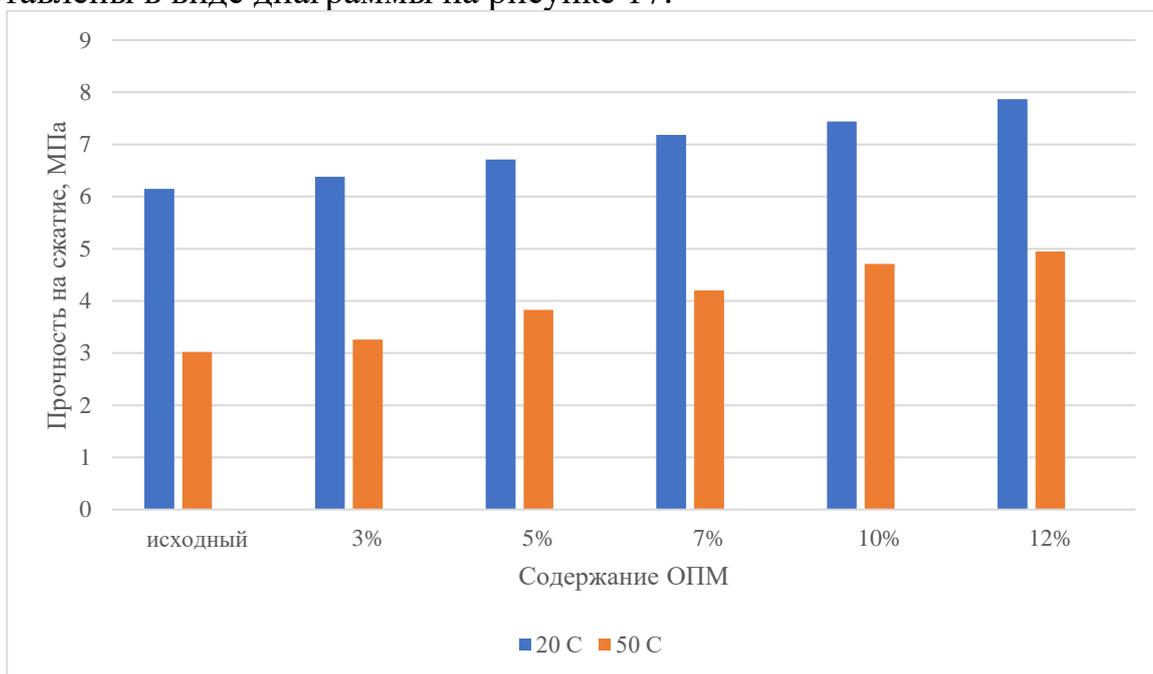


Рисунок 17 –Влияние ОПМ на прочность на сжатие РАП

Данные диаграммы свидетельствуют об улучшении физико-механических характеристик РАП после добавления реювенатора. После введения отработанных масел отмечается повышение прочности как при 20, так и при 50 °С.

По результатам испытаний на эксплуатационные свойства РАП можно сделать вывод, что подходящий диапазон содержания омолаживающего вещества в смеси для используемого перерабатываемого материала РАП должен находиться в пределах от 10 до 12% от его массы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Без надлежащей утилизации отработанных пищевых масел сильно загрязняет как водную, так и наземную среду, что требует соответствующего управления утилизацией [50]. Важно отметить, что методы годового производства и восстановления отработанных подсолнечных масел постоянно различаются, что негативно сказывается на экологической ситуации региона. В этой связи, применение его для модификации битумных вяжущих служило бы не только интересно как с научной, так и с точки зрения рационального использования природных ресурсов и решения вопросов экологической безопасности.

Соответствующий подход к получению перерабатываемого РАП на этапе фрезерования старых дорожных покрытий и точный анализ состава и свойств состаренного битума позволяют увеличить долю переработанного РАП в новых смесях ГМА (при наличии соответствующих ресурсов оборудования и в процессе используются технологии обработки) и удешевить строительство дорожных покрытий.

Исследования в области технологии биоматериалов идут быстрыми темпами, и со временем появляются новые функциональные биоразлагаемые материалы, которые исследуются на предмет их практичности и потенциала для смягчения надвигающихся экологических и экономических кризисов в современном мире. Научные прорывы в этой области важны для создания устойчивой циркулярной экономики наряду с технологическим прогрессом, и биоматериалы могут сыграть ключевую роль в достижении этой цели. Поскольку асфальтовая промышленность также способствует выбросу токсичных паров и химикатов, представляющих угрозу экологической безопасности и здоровью людей, истощению невозобновляемых ресурсов и высокому энергопотреблению, разрабатываются экологичные инициативы, направленные на облегчение процессов в асфальтовой промышленности, не представляющих угрозы для окружающей среды.

Результаты исследований, представленных в данной работе, демонстрируют потенциал используемого материала, возможные недостатки и моменты, требующие улучшения, а также дают рекомендации по дальнейшим шагам, которые необходимо предпринять для совершенствования эффективного использования ОПМ в асфальте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 G. Policastro, A. Panico, M. Fabbricino, Improving biological production of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) copolymer: a critical review
- 2 R. Kleerebezem, MCM van Loosdrecht, 2007. Mixed culture biotechnology for bioenergy production. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 207-212.
- 3 Bengtsson, S., et al., STOWA 2017-15 PHARIO: Stepping Stone to a Sustainable Value Chain for PHA Bioplastic using Municipal Activated Sludge. 2017
- 4 A. Tabaković, J. Lemmens, J. Tamis. Bio-polymer modified bitumen. *Construction and Building Materials*, Volume 406 2023.
- 5 Arayaprane, W. Rubber Abrasion Resistance. *Abrasion Resist. Mater.* 2012, 8, 147–166
- 6 Ismail, H.; Salmah, M.N. Dynamic Vulcanization of Rubberwood-filled Polypropylene/Natural Rubber Blends. *Polym. Testing.* 2001, 20, 819–823.
- 7 Ikeda, Y.; Kato, A.; Kohjiya, S.; Nakajima, Y. Basic science of rubber. In *Rubber Science*; Springer: Singapore, 2018; p. 19
- 8 Greve, H. Rubber, 2. Natural. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Germany, 2000; p. 14.
- 9 Ansari, A.H.; Jakarni, F.M.; Muniandy, R.; Hassim, S.; Elahi, Z. Natural rubber as a renewable and sustainable bio-modifier for pavement applications: A review. *J. Clean. Prod.* 2021, 289, 125727
- 10 Wen, Y.; Wang, Y.; Zhao, K.; Sumalee, A. The Use of Natural Rubber Latex as a Renewable and Sustainable Modifier of Asphalt Binder. *Int. J. Pavement Eng.* 2017, 18, 547–559.
- 11 Krishnapriya, M.G. Performance evaluation of natural rubber modified bituminous mixes. *Int. J. Civil. Struct. Env. Infrastruct. Eng. Res. Dev.* 2015, 5, 121–134.
- 12 Shaffie, E.; Ahmad, J.; Arshad, A.K.; Kamarun, D.; Kamaruddin, F. Stripping Performance and Volumetric Properties Evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) Mix Design Using Natural Rubber Latex Polymer Modified Binder (NRMB). In *CIEC*; Springer: Singapore, 2015; pp. 873–884.
- 13 Al-Sabaei, A.; Yussof, N.I.M.; Napiyah, M.; Sutanto, M. A review of using Natural Rubber in the modification of bitumen and Asphalt mixtures used for road construction. *J. Teknol. Sci. Eng.* 2019, 81, 81–88.
- 14 Desseaux, S.; Santos S.; Geiger, T.; Tingaut, P.; Zimmermann, T. Improved mechanical properties of bitumen modified with acetylated cellulose fibers. *Composites Part B: Engineering*, Volume 140, 2018; 139-144.

15 P. Tingaut, T. Zimmermann, F. Lopez-Suevos, Synthesis and Characterization of Bionanocomposites with Tunable Properties from Poly (lactic acid) and Acetylated Microfibrillated Cellulose, *Biomacromolecules* 11 (2010) 454-464.

16 S. Josset, P. Orsolini, G. Siqueira, A. Tejado, P. Tingaut, T. Zimmermann, Energy consumption of the nanofibrillation of bleached pulp, wheat straw and recycled newspaper through a grinding process, *Nordic Pulp & Paper Research Journal* 29 (2014) 167-175.

17 Z. Zhang, P. Tingaut, D. Rentsch, T. Zimmermann, G. Sèbe, Controlled Silylation of Nanofibrillated Cellulose in Water: Reinforcement of a Model Polydimethylsiloxane Network, *ChemSusChem* 8 (2015) 2681-2690.

18 X. Lu, U. Isacson, Rheological characterization of styrene-butadiene-styrene copolymer modified bitumens, *Construction and Building Materials* 11 (1997) 23-32.

19 Gevert, B.S.; Otterstedt, J.E. Upgrading of directly liquefied biomass to transportation fuels hydroprocessing. *Biomass* 1987, 13, 105–115

20 Abd El-latif, R.A.E. Asphalt modified with Biomaterials as Eco-friendly and sustainable modifiers. In *Modified Asphalt*; InTech Open: Rijeka, Croatia, 2018

21 Ancheyta, J.; Speigh, J.G. *Hydroprocessing of Heavy Oils and Residua*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2007

22 Abe, A.A.; Oliviero Rossi, C.; Eskandarsefat, S.; Porto, M.; Loise, V.; Venturini, L.; Caputo, P. Reclaimed asphalt recycling agents: Looking into the blueprint of their mechanisms of action. *Constr. Build. Mater.* 2023, 363

23 Caputo, P.; Calandra, P.; Loise, V.; Le Pera, A.; Putz, A.-M.; Abe, A.A.; Madeo, L.; Teltayev, B.; Luprano, M.L.; Alfè, M.; et al. When Physical Chemistry Meets Circular Economy to Solve Environmental Issues: How the ReScA Project Aims at Using Waste Pyrolysis Products to Improve and Rejuvenate Bitumens. *Sustainability* 2022

24 Krol, J.B.; Kowalski, K.J.; Niczke, L.; Radziszewski, P. Effect of bitumen fluxing using a bio-origin additive. *Constr. Build. Mater.* 2016, 114, 194–203.

25 Caputo, P.; Porto, M.; Calandra, P.; De Santo, M.P.; Oliviero Rossi, C. Effect of epoxidized soybean oil on mechanical properties of bitumen and aged bitumen. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 2018, 675, 68–74

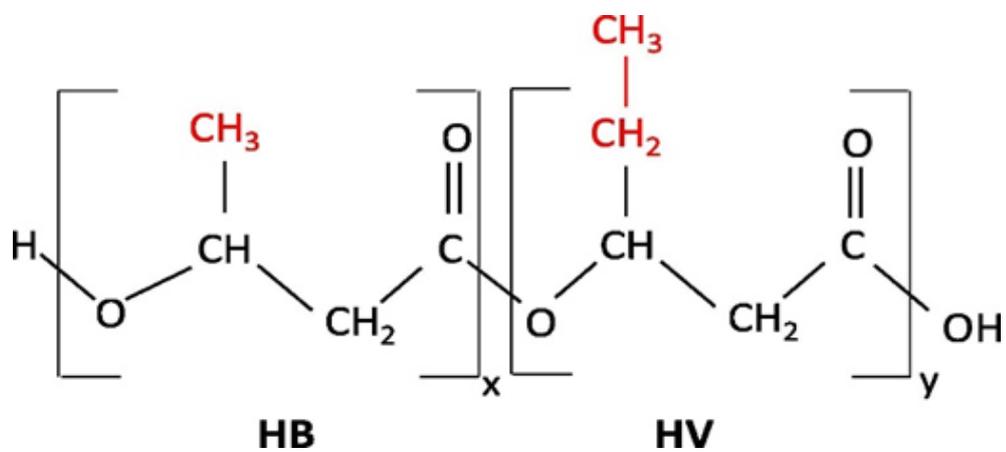
26 Mallécol, J.; Gonon, L.; Commereuc, S.; Verney, V. Thermal (DSC) and chemical (iodometric titration) methods for peroxides measurements in order to monitor drying extent of alkyd resins. *Prog. Org. Coat.* 2001, 41, 171–176.

- 27 Vinay Sharma, P.P. Kundu, Addition polymers from natural oils—A review. *Polym. Sci.* 2006
- 28 Perez, I.; Pasandin, A.R.; Pais, J.C.; Pereira, A.A.P. Use of lignin biopolymer from industrial waste as bitumen extender for asphalt mixture. *J. Clean. Prod.* 2019, 220, 87–98
- 29 Caputo, P.; Porto, M.; Loise, V.; Abe, A.; Teltayev, B.; Calandra, P.; Oliviero-Rossi, C. How Organic Waste Improves Bitumen's Characteristics. *Eurasian Chem. -Technol. J.* 2021, 23, 227–233.
- 30 Calandra, P.; Quaranta, S.; Figueira, B.A.M.; Caputo, P.; Porto, M.; Oliviero-Rossi, C. Mining wastes to improve bitumen performances: An example of circular economy. *J. Colloid Interface Sci.* 2022, 614, 277–287
- 31 Eriskin, E., Karahancer, S., Terzi, S., & Saltan, M. (2017). Waste frying oil modified bitumen usage for sustainable hot mix asphalt pavement. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 17(4), 863–870.
- 32 Tabaković, A.; van Vliet, D.; Roetert-Steenbruggen, K.; Leegwater, G. Bio-Oils as Asphalt Bitumen Rejuvenators. *Eng. Proc.* 2023, 36, 27. <https://doi.org/10.3390/engproc2023036027>
- 33 Hajj, E. Y., M. I. Souliman, M. Z. Alavi, and L. G. L. Salazar. 2013. "Influence of hydrogreen bioasphalt on viscoelastic properties of reclaimed asphalt mixtures." *Transp. Res. Rec.* 2371 (1): 13–22. <https://doi.org/10.3141/2371-02>
- 34 Айткалиева Г.С. Утилизация бытовых и промышленных отходов / Монография. – Алматы: Дарын, 2023. – 133с. ISBN 978-601-269-440-6
- 35 Aitkaliyeva G., Yelubay M., Yerzhanova D., Ismailova A., Massakbayeva S. The use of polyethylene terephthalate waste as modifiers for bitumen systems // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* -2022. – V. 3. -№6 (117). – P.6-13. DOI [10.15587/1729-4061.2022.257782](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.257782)
- 36 Pipintakos, G., Soenen, H., Ching, H. Y. V., Velde, C. V., Doorslaer, S. V., Lemièrre, F., Varveri, A., & Van den bergh, W. (2021). Exploring the oxidative mechanisms of bitumen after laboratory short- and long-term ageing. *Construction and Building Materials*, 289, 123182. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123182>
- 37 Hofko, B., Alavi, M. Z., Grothe, H., Jones, D., & Harvey, J. (2017). Repeatability and sensitivity of FTIR ATR spectral analysis methods for bituminous binders. *Materials and Structures*, 50(3):187. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1059-x>
- 38 Santagata, E., Baglieri, O., Dalmazzo, D. *et al.* Evaluation of the anti-rutting potential of polymer-modified binders by means of creep-recovery shear tests. *Mater Struct* 46, 1673–1682 (2013). <https://doi.org/10.1617/s11527-012-0006-0>

- 39 Zhang F, Yu S, Wu S (2010) Effect of ageing on rheological properties of storage-stable SBS sulphur-modified asphalts. *J Hazard Mater* 182: 507-517
- 40 J. Shen, S. Amirkhanian, J. Aune Miller, Effects of rejuvenating agents on superpave mixtures containing reclaimed asphalt pavement, *J. Mater. Civ. Eng.* 19 (5) (2007) 376–384
- 41 Prosperi, E.; Bocci, E. A Review on Bitumen Aging and Rejuvenation Chemistry: Processes, Materials and Analyses. *Sustainability* **2021**, 13, 6523. <https://doi.org/10.3390/su13126523>
- 42 W. sorociak, B. grzesik, J. bżówka, P. mieczkowsk asphalt concrete produced from rejuvenated reclaimed asphalt pavement (rap) // *Archives of Civil Engineering*. 2020 (2).
- 43 Noesler I., Beitrag zur prueftechnischen Ansprache des Haftverhaltens zwischen Mineralstoff und Bitumen, Aachen: Shaker, 2000, Schriftenreihe des Fachzentrums Verkehr; Bd 5, Zugl: Wuppental Univ.-GH, Diss., 2000 ISBN3-8265-7453-2.
- 44 A.M. El-Shorbagy et al. / *Construction and Building Materials* 220 (2019) 228–237
- 45 Ayan, V., Omer, J.R., Azadani, S.M.N., Limbachiya, M.C. and Khavandi, A. (2014) Water Absorption Study in Recycled Aggregates for Use as Pavement Material. *Open Access Library Journal*, 1: e605. <http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1100605>
- 46 Loise, V.; Caputo, P.; Porto, M.; Calandra, P.; Angelico, R.; Rossi, C.O. A review on Bitumen Rejuvenation: Mechanisms, materials, methods and perspectives. *Appl. Sci.* **2019**, 9, 4316.
- 47 M K Idham, S N A Jeffry, M R Hainin, H Yaacob, N A Hassan, M N M Warid, A Mohamed, N Z M Yunus Effect of different rejuvenating agents on the mechanical performance of recycled bituminous mixture 2019 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 527 012051
- 48 M. Muñoz, R. Haag, R. Figi, C. Schreiner, M. Zaumanis, M. C. Cavalli, L. D. Poulidakos & N. V. Heeb (2022) Environmental impact of rejuvenators in asphalt mixtures containing high reclaimed asphalt content, *Road Materials and Pavement Design*, 23:6, 1400-1414, DOI: 10.1080/14680629.2021.189112
- 49 Ayan, V., Omer, J.R., Azadani, S.M.N., Limbachiya, M.C. and Khavandi, A. (2014) Water Absorption Study in Recycled Aggregates for Use as Pavement Material. *Open Access Library Journal*, 1: e605. <http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1100605>
- 50 Bardella, N.; Facchin, M.; Fabris, E.; Baldan, M.; Beghetto, V. Waste Cooking Oil as Eco-Friendly Rejuvenator for Reclaimed Asphalt Pavement. *Materials* 2024, 17, 1477. <https://doi.org/10.3390/ma17071477>

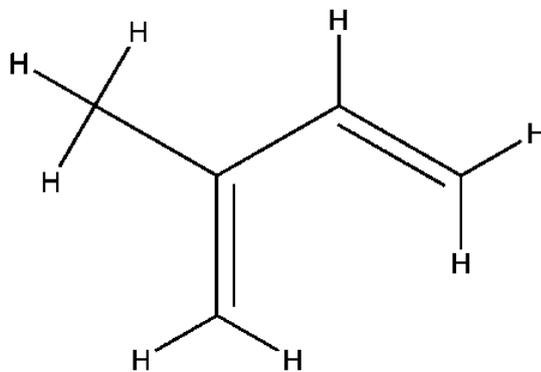
Приложение А

Химическая структура ПГБВ



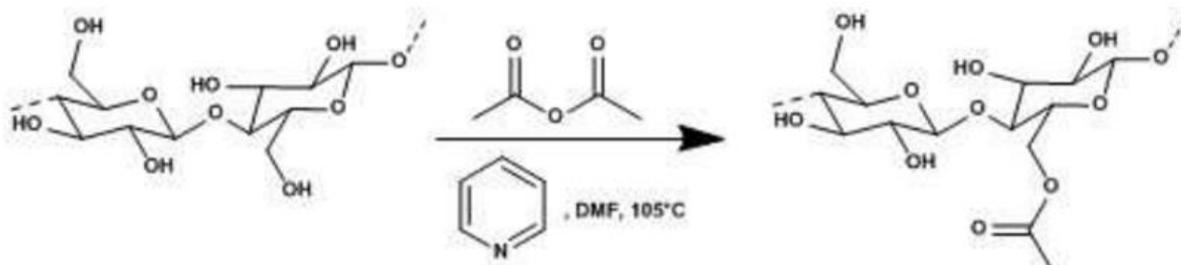
Приложение Б

Химическая структура изопрена



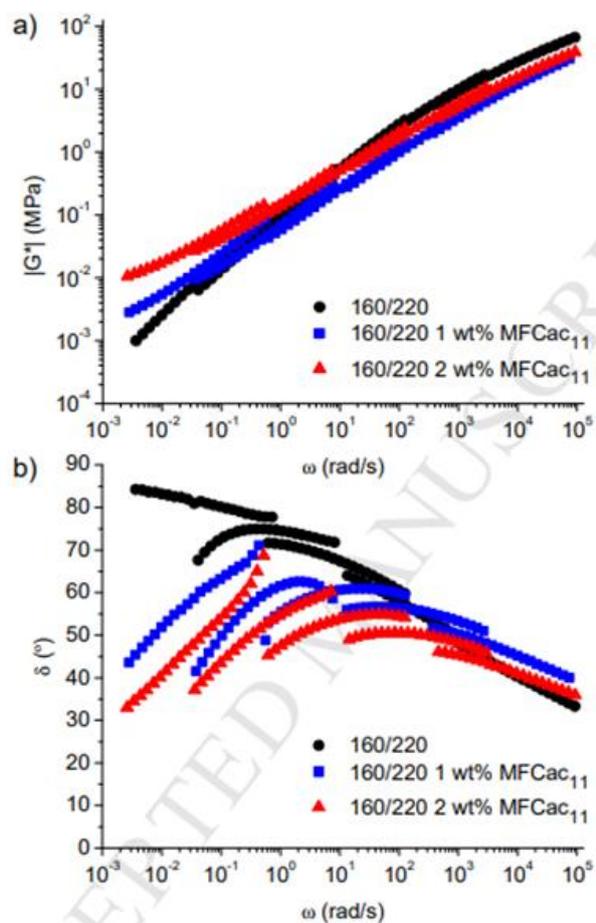
Приложение В

Ацелирование целлюлозы уксусным ангидридом в диметилформамиде (DMF) при 105 °С с использованием пиридина.



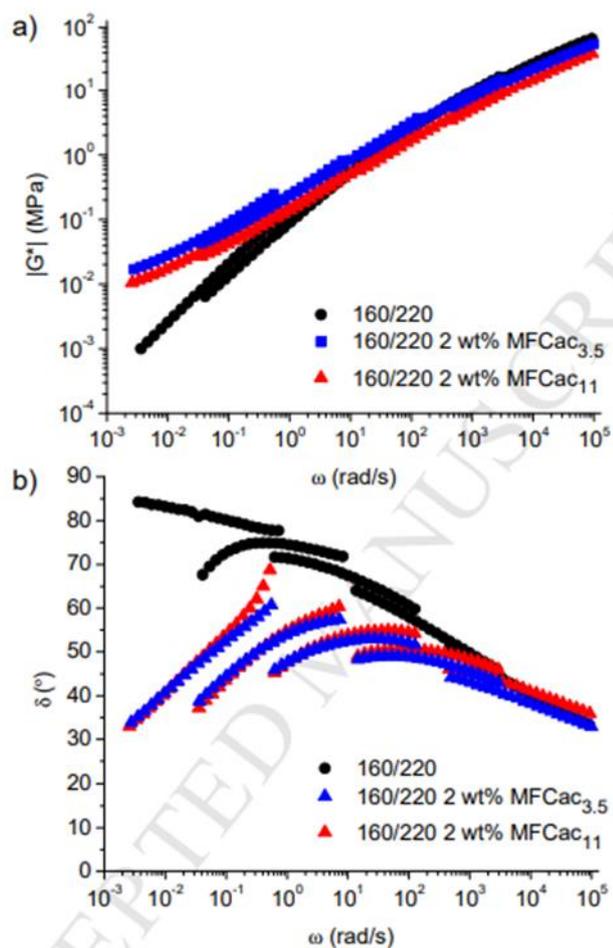
Приложение Г

а) $|G^*|$ и б) δ в зависимости от угловой частоты для температурного диапазона 0 - 40°C для битума 160/220 в отдельности и с содержанием 1 и 2 масс. % MFCac₁₁.



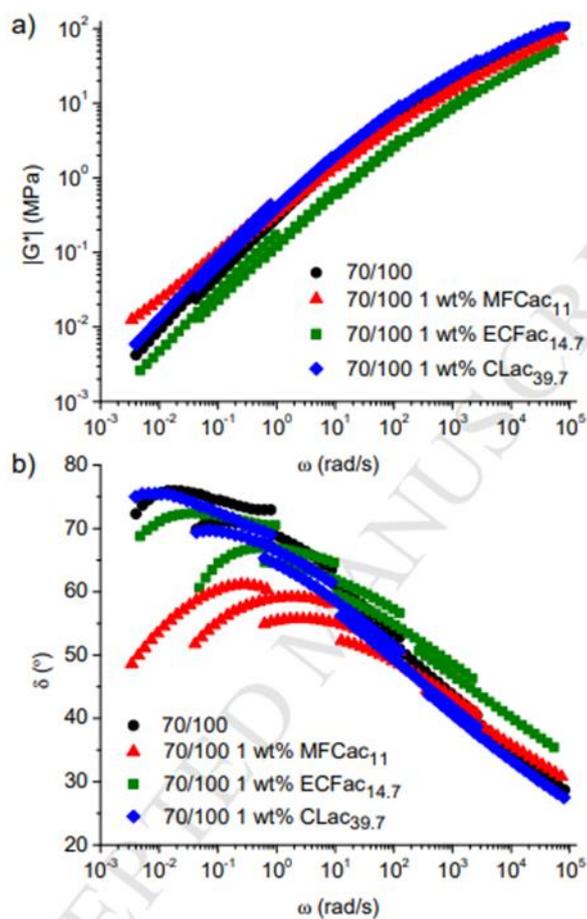
Приложение Д

а) $|G^*|$ и б) δ в зависимости от угловой частоты для диапазона температур 0 - 40°C для битума 160/220 отдельно и с 2 мас. % MFCac_{3.5} и MFCac₁₁.



Приложение Е

а) $|G^*|$ и б) δ в зависимости от угловой частоты и для диапазона температур 0 - 40 °С для битума 70/100 отдельно и с 1 масс. % MFCac₁₁, ECFac_{14.8} и CLac_{39.7}.



Приложение Ж

Отработанное подсолнечное масло (ОПМ)



Приложение И

Регенерированное асфальтовое покрытие (РАП)



Приложение К

Проведение смешивания РАП и модификатора



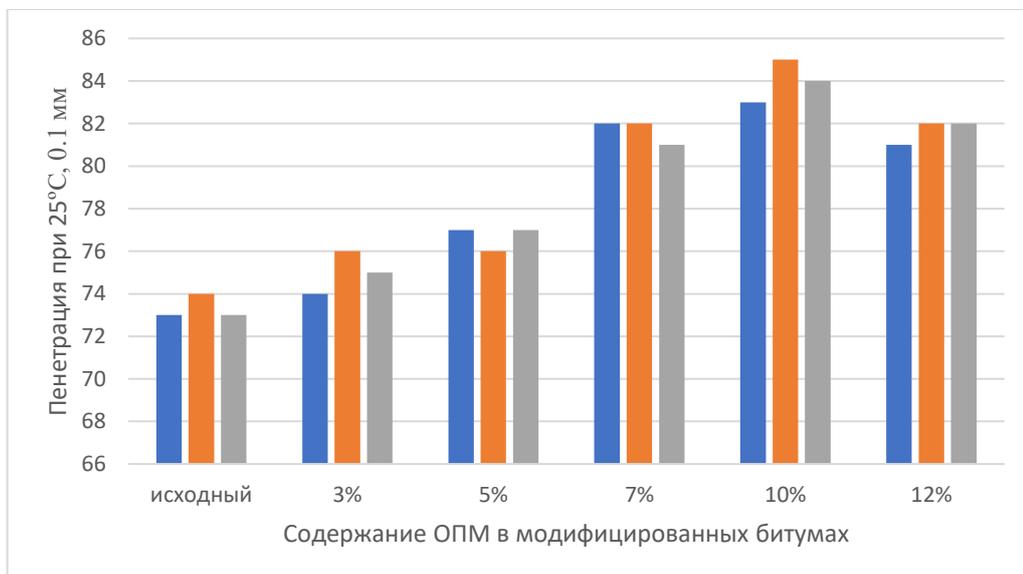
Приложение Л

Образцы РАП



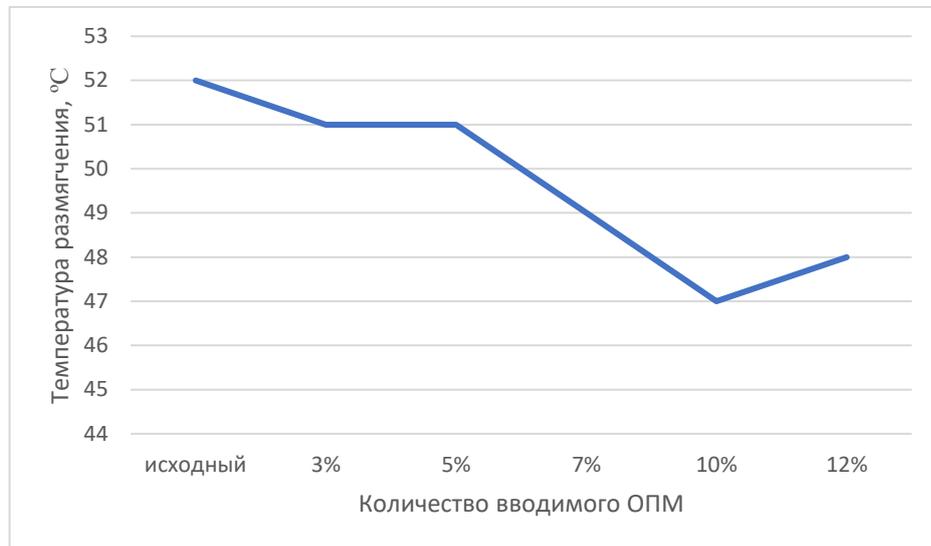
Приложение М

Влияние концентрации модификатора на значение пенетрации



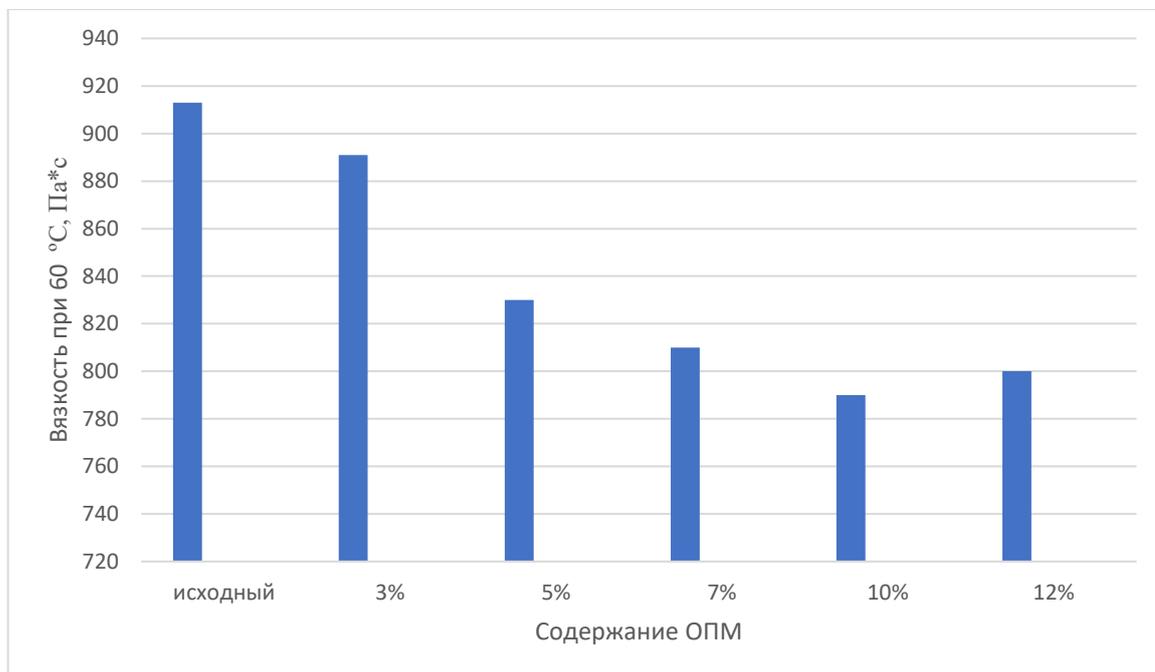
Приложение Н

Исследование влияния концентрации модификатора на температуру размягчения битумных вяжущих



Приложение П

Изменение вязкостных характеристик битума после модификации ОПМ



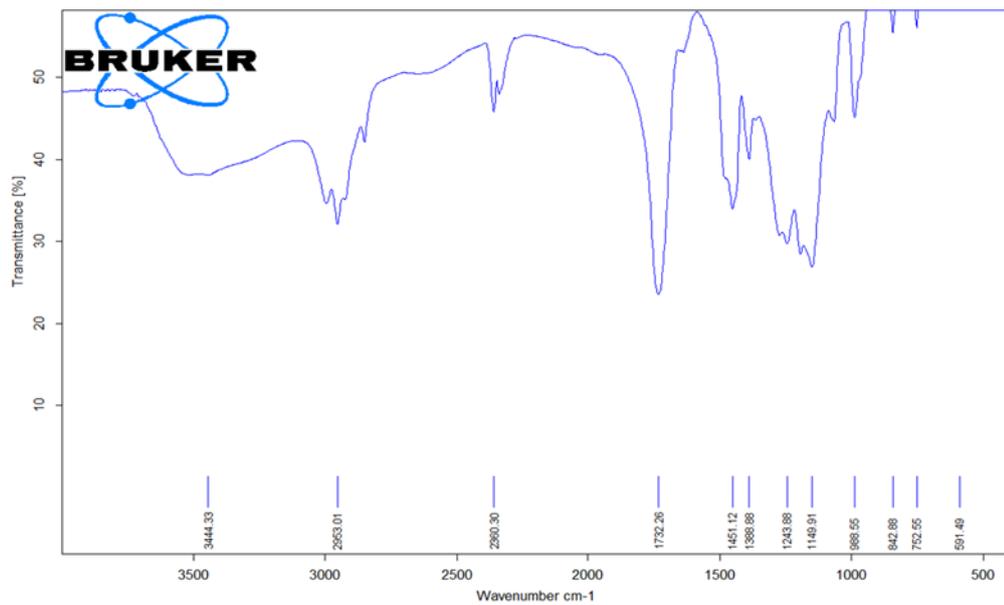
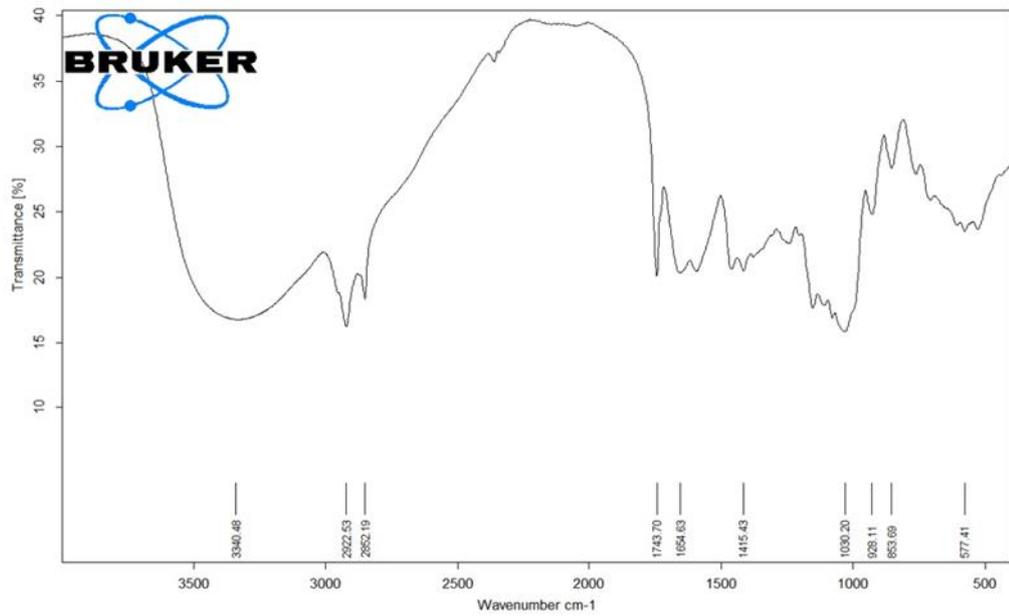
Приложение Р

Изменение дуктильности битумных вяжущих после ввода модификатора



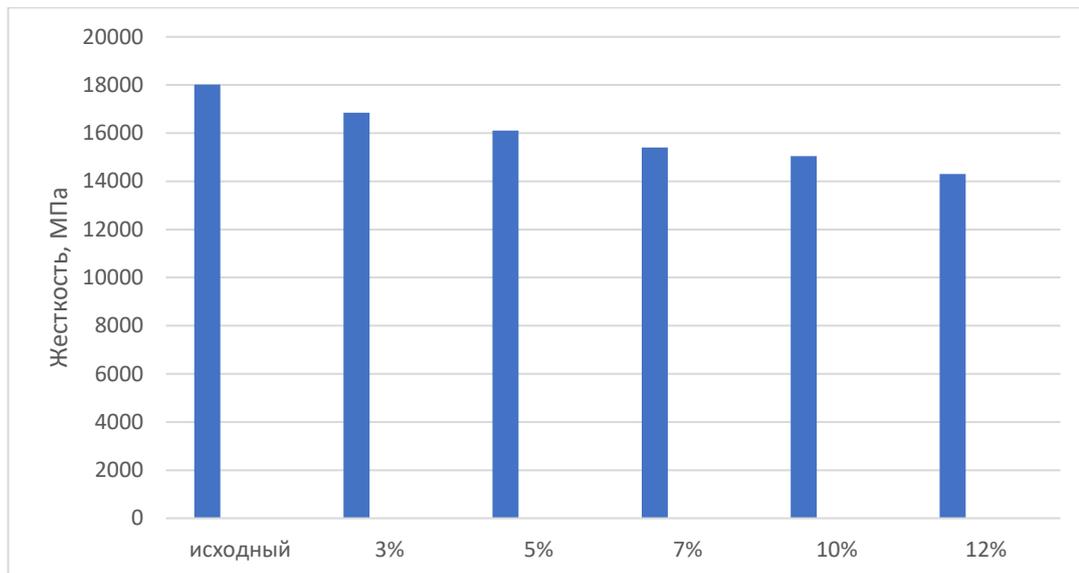
Приложение С

ИК-спектры исходного битума (а), модифицированного битума с 5% ОПМ (б)



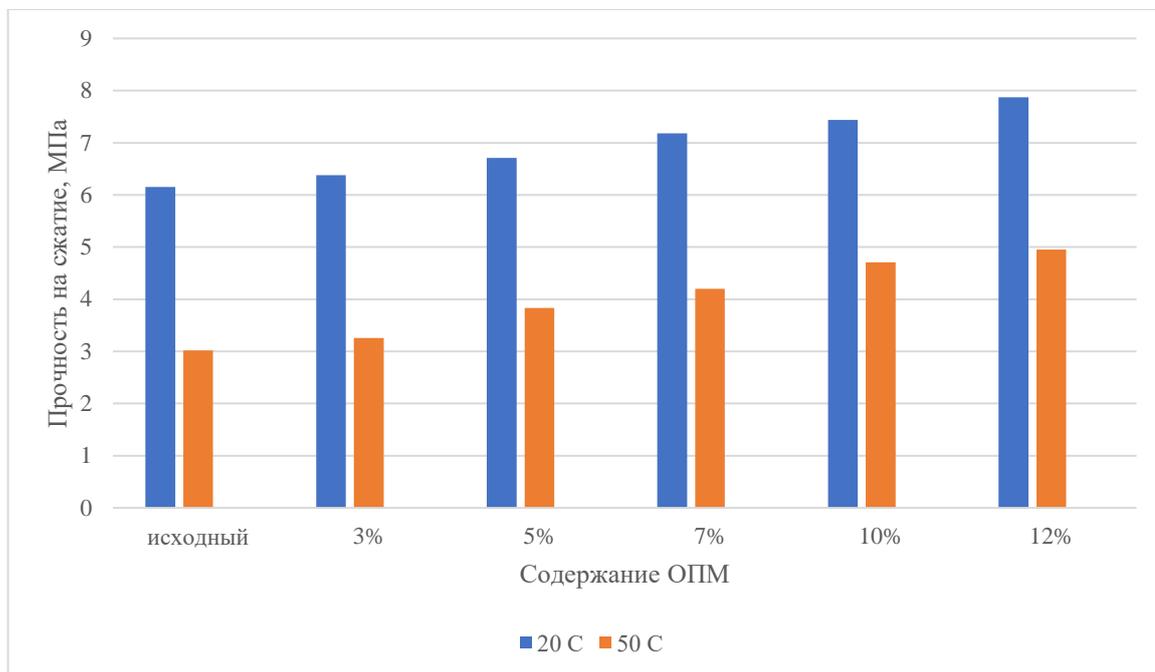
Приложение Т

Влияние отработанных подсолнечных масел на жесткость РАП



Приложение У

Влияние ОПМ на прочность на сжатие РАП



РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Шекешевой Дильназ Ермековной

6B05101-Биотехнология

На тему: Модификация битумных вяжущих материалами на биологической основе

Одним из основных дорожно-строительных материалов, используемых в Казахстане, является органический вяжущий материал – битум. Его популярность связана с его способностью повышать прочность каменных материалов или грунтов, устойчивостью к воде, пластичностью. Однако несмотря на привлекательные эксплуатационные свойства битума, он все же подвергается износу от интенсивных транспортных нагрузок, увеличивающихся с каждым годом. В этой связи учеными по всему миру проводятся работы по повышению качества битумных вяжущих покрытий. Стремление улучшить физико-химические свойства битумных вяжущих побудило исследователей по всему миру применить их модифицирование биологическими материалами.

Настоящая дипломная работа описывает применение экологически и экономически выгодного биологического материала – отработанного подсолнечного масла, что позволяет ученым и технологам комплексно решить проблему износа дорог и утилизации отходов. В работе представлен подробный обзор литературы по использованию уже известных материалов для омоложения битума.

Экспериментальная часть была проведена с целью изучения изменения свойств регенерированного асфальтового покрытия (РАП) при добавлении реювенатора и проводилась с использованием различного оборудования для механических операций и анализа полученных данных. Были проведены исследования в области изучения модифицированного РАП, в особенности таким параметрам как, водонасыщение и остаточная пористость фрезерованного материала.

В заключительной части имеется емкий вывод, демонстрирующий эффективность использования отработанного масла для жарки при модификации и омоложения РАП.

Рецензия

Ph.D. Бауенова М.

Биология

г. Казань

« 14 »

2024 г.

ОТЗЫВ

**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ
на дипломную работу**

на тему: Модификация битумных вяжущих материалами на биологической основе

Шекешева Дильназ Еркемовной

ОП 6B05101-Биотехнология

Одной из основных задач в дорожной промышленности в текущее время является использование возобновляемых биологических материалов для модификации битума, тем самым уменьшая выбросы углекислого газа и делая сектор менее зависимым от продуктов на основе нефти. В частности, тенденция заключается в использовании биоматериалов, полученных в качестве побочных продуктов промышленных процессов или отходов повседневной жизни, избегая их захоронения на свалках, в соответствии с принципами устойчивого развития и экономики замкнутого цикла.

Данная дипломная работа описывает использование одного из самого распространенного продукта промышленности и жизнедеятельности современного человека в Казахстане – отработанного масла для жарки в качестве модификатора регенерированного асфальтового покрытия (РАП).

В первой части работы содержится развернутый обзор литературы по применению основных материалов, используемых для решения проблемы модификации битумных вяжущих и РАП, их преимущества и недостатки, собрал данные о механизмах действия данных материалов на РАП, используя новейшие публикации и исследования, во второй части показаны все методы и стандарты проведения экспериментальной работы, в третьей главе представлены основные результаты, которые взаимосвязаны и состоят из пояснений и выводов. Дипломная работа структурирована, результаты обоснованы, достоверны, что обеспечивается применением современного аналитического оборудования.

Шекешева Д. при подготовке дипломной работы показала себя как грамотный, способный экспериментатор. Автором самостоятельно проведены по подготовки сырья, проведения модификации битума в лаборатории, также принимала активное участие в изучении их физико-химических свойств полученных образцов.

Считаю, что тема дипломной работы актуальна, важна с теоретической и практической точки зрения, соответствует установленным требованиям и оцениваю работу Шекешева Дильназ на оценку «отлично».



Научный руководитель
Ассоц. профессор, PhD

(подпись)

Айткалиева Г.С.

«31»

ноя

2024 г.



Metadata

Title
Модификация битумных вяжущих материалами на биологической основе

Author(s)
Шекешова Дильназ

Coordinator
Гульзат Айткалиева

Organizational unit
ИГИНГД

Alerts

In this section, you can find information regarding text modifications that may aim at temper with the analysis results. Invisible to the person evaluating the content of the document on a printout or in a file, they influence the phrases compared during text analysis (by causing intended misspellings) to conceal borrowings as well as to falsify values in the Similarity Report. It should be assessed whether the modifications are intentional or not.

Characters from another alphabet		2
Spreads		0
Micro spaces		28
Hidden characters		0
Paraphrases (SmartMarks)		10

Record of similarities

SCs indicate the percentage of the number of words found in other texts compared to the total number of words in the analysed document. Please note that high coefficient values do not automatically mean plagiarism. The report must be analyzed by an authorized person.



25

The phrase length for the SC 2



8081

Length in words



62464

Length in characters

Active lists of similarities

This list of sources below contains sources from various databases. The color of the text indicates in which source it was found. These sources and Similarity Coefficient values do not reflect direct plagiarism. It is necessary to open each source, analyze the content and correctness of the source crediting.

The 10 longest fragments

Color of the text

NO	TITLE OR SOURCE URL (DATABASE)	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)	
1	1933-Шекешова ХБТ.docx 3/20/2024 Satbayev University (ИГИНГД)	136	1.68 %
2	Утилизация бытовых и промышленных отходов 10/17/2023 Satbayev University (ИГИНГД)	41	0.51 %
3	Утилизация бытовых и промышленных отходов 10/17/2023 Satbayev University (ИГИНГД)	38	0.47 %

4	Утилизация бытовых и промышленных отходов 10/17/2023 Satbayev University (ИГИНГД)	15	0.19 %
5	Утилизация бытовых и промышленных отходов 10/17/2023 Satbayev University (ИГИНГД)	15	0.19 %
6	Утилизация бытовых и промышленных отходов 10/17/2023 Satbayev University (ИГИНГД)	12	0.15 %
7	Утилизация бытовых и промышленных отходов 10/17/2023 Satbayev University (ИГИНГД)	11	0.14 %
8	Утилизация бытовых и промышленных отходов 10/17/2023 Satbayev University (ИГИНГД)	11	0.14 %
9	Утилизация бытовых и промышленных отходов 10/17/2023 Satbayev University (ИГИНГД)	10	0.12 %
10	Утилизация бытовых и промышленных отходов 10/17/2023 Satbayev University (ИГИНГД)	8	0.10 %

from RefBooks database (0.00 %)

NO	TITLE	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)	
----	-------	---------------------------------------	--

from the home database (3.92 %)

NO	TITLE	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)	
1	Утилизация бытовых и промышленных отходов 10/17/2023 Satbayev University (ИГИНГД)	181 (12)	2.24 %
2	1933-Шекешева ХБТ.docx 3/20/2024 Satbayev University (ИГИНГД)	136 (1)	1.68 %

from the Database Exchange Program (0.00 %)

NO	TITLE	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)	
----	-------	---------------------------------------	--

from the Internet (0.00 %)

NO	SOURCE URL	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)	
----	------------	---------------------------------------	--

List of accepted fragments (no accepted fragments)

NO	CONTENTS	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)	
----	----------	---------------------------------------	--