



УДК 661.185

**Аюпов Дамир Алиевич**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: [ayupov\\_damir@rambler.ru](mailto:ayupov_damir@rambler.ru)

**Потапова Людмила Ильинична**

кандидат химических наук, доцент

E-mail: [ludmilapo@mail.ru](mailto:ludmilapo@mail.ru)

**Казакулов Рауф Ильдарович**

инженер

E-mail: [Rauf-kazakulov@mail.ru](mailto:Rauf-kazakulov@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Хакимуллин Юрий Нуриевич**

доктор технических наук, профессор

E-mail: [hakim123@rambler.ru](mailto:hakim123@rambler.ru)

**Казанский национальный исследовательский технологический университет**

Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 72

### **Исследование составов дорожных поверхностно-активных веществ**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* В данной работе исследовались состав и структура поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые применяются в дорожном строительстве в качестве адгезионных добавок. Основной задачей была идентификация составов ПАВ, что позволяет предполагать механизм их воздействия на битумные вяжущие и каменные материалы.

*Результаты.* Сняты и расшифрованы ИК-спектры исследуемых ПАВ. Определены их числа омыления.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что они позволяют предположить механизм воздействия ПАВ на битумные вяжущие и их адгезионную способность, прогнозировать их эффективность при стабилизации ПБВ с различным типом полимеров.

**Ключевые слова:** битум, ПАВ, поверхностно-активные вещества, адгезионные добавки, модификация битума, дорожные ПАВ, адгезия битума, адгезия к щебню.

#### **Введение**

В дорожном строительстве поверхностно-активные вещества (ПАВ) широко применяются для двух целей: в качестве стабилизаторов битумных эмульсий [1-2], а также в качестве промоторов адгезии битумных вяжущих к минеральной части асфальтобетонной смеси [3-4]. При этом известная способность ПАВ являться эффективными стабилизаторами дисперсных систем [5-6] позволяет рассчитывать на пониженную склонность к расслоению ПАВ-содержащих полимербитумных вяжущих (ПБВ) на основе СБС или других полимеров, применяемых для модификации [7-8], что позволяет избежать дополнительного введения реакционноспособных стабилизаторов [9-10]. Очевидно, что различные ПАВ неодинаково эффективны как адгезионные добавки и как стабилизаторы дисперсных систем в силу своего строения. При этом производители скрывают состав выпускаемых продуктов, опасаясь их копирования конкурирующими химическими концернами. Идентификация молекулярного строения и составов, применяемых в дорожном строительстве, ПАВ позволила бы понять механизм их воздействия на битумные вяжущие и каменные материалы, спрогнозировать эффективность в случае применения поверхностно-активных веществ в качестве стабилизатора в полимерно-битумных вяжущих, классифицировать популярные ПАВ по доминирующему действию, отличать прямые аналоги от действующих по-другому принципу добавок.

### Объекты исследования

Нами для исследований были выбраны пять популярных поверхностно-активных веществ, широко представленных на рынке дорожного строительства, Амдор 20Т, Азол 1002, Азол 1003В, Dynogam SL и Secabase 200. Научный и практический интерес представляет также отход переработки хлопкового масла казанского АО «Нэфис Косметикс» – ОПХМ, хорошо показавший себя в качестве эмульгатора в битумных эмульсиях [1].

Выбранные ПАВ, за исключением ОПХМ, широко применяются в дорожном строительстве в качестве адгезионных добавок и были синтезированы специально для этих целей. Исследование эффективности конкретных стабилизирующих добавок имеет узкий практический смысл, гораздо важнее представлять состав и структуру данных добавок, имея в виду, что полученные выводы, возможно, при расширении выборки поверхностно-активных веществ и повторяемости результатов, применимы к целому классу подобных соединений. С этой целью были сняты ИК-спектры изучаемых ПАВ, которые представлены ниже.

### Азол-1002

На рис. 1 представлен ИК-спектр Азол-1002 (ОАО «Котласский химический завод») – катиоактивный ПАВ на основе амидоаминов и имидазолинов жирных кислот.

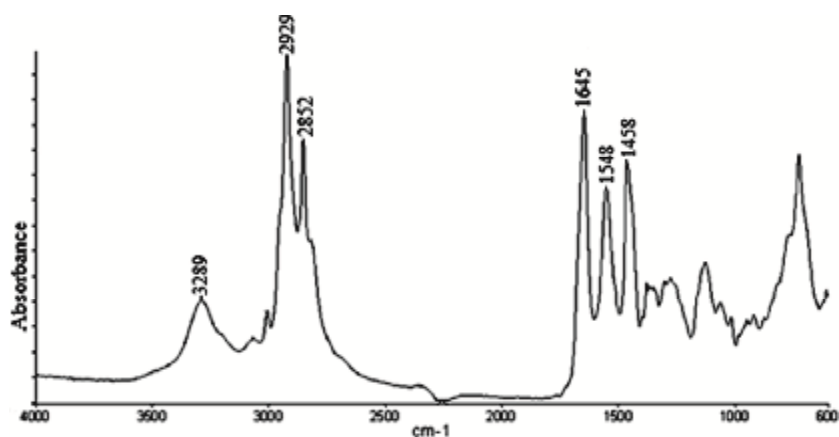


Рис. 1. ИК-спектр Азол-1002

По описанию производителя, адгезионная добавка Азол 1002 применяется для улучшения адгезии битумных и полимерно-битумных вяжущих к минеральной части асфальтобетонных смесей, а также в качестве стабилизатора свойств битума при производстве асфальтобетонных смесей в дорожном строительстве.

Основные технические свойства Азол 1002 представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Технические свойства Азол 1002

Наименование показателей	Норма
1. Внешний вид при 20 °С	Вязкая жидкость темно-коричневого цвета
2. Массовая доля нелетучих веществ, %, не менее	90,0
3. Общее содержание титруемого азота, %, не менее	4,5
4. Вязкость условная по ВУБ-1Ф с соплом 5мм при 50 °С, с, не более	100
5. Сцепление битумного вяжущего, в котором растворена адгезионная добавка Азол 1002, с поверхностью щебня, в баллах	4 – 5

В табл. 2 показаны представляющие интерес характерные пики с вероятной расшифровкой.

Таблица 2

## Расшифровка ИК-спектра Азола-1002

Частота, см <sup>-1</sup>	Характеристика
3289	валентные колебания NH-групп
2923	валентные антисимметричные колебания CH <sub>2</sub> -групп
2852	валентные колебания CH-групп
1645	валентные колебания карбонильных групп в третичных амидах
1548	деформационные колебания NH-групп во вторичных амидах
1458	ножничные деформационные колебания CH <sub>2</sub> -групп

Таким образом, Азол-1002 представляет собой азотсодержащее органическое поверхностно-активное вещество, имеющее в своем составе вторичные амины, а также вторичные (имиды) и третичные амиды. Это совпадает с описанием производителя, который характеризует Азол 1002 как катионоактивный ПАВ на основе амидоаминов и имидазолинов жирных кислот.

**Dinoram SL**

Dinoram SL (Arkema Group) – это ПАВ, представляющий собой, по описанию производителя, производное N-алкил «жир» полипропилен полиамина. Применяется как эмульгатор для производства катионных битумных эмульсий быстрого распада для поверхностной обработки и для нанесения вяжущих слоев, а также как эмульгатор для производства эмульсий среднего распада для битумно-минеральных смесей, подлежащих хранению. Физико-химические свойства ПАВ Dinoram SL представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Технические свойства Dinoram SL

Характеристика	Единица измерения	Показатели
Общая щелочность	мл HCl(N)/г	5,2-5,7
Точка расплава	°C	Не более 12
Плотность при 25°C	г/см <sup>3</sup>	0,915-0,935
Содержание воды	% вес.	Не более 1
Точка воспламенения	°C	100
Вязкость при 20 °C	мПа с	320

На рис. 2 представлен ИК-спектр поверхностно-активного вещества Dinoram SL.

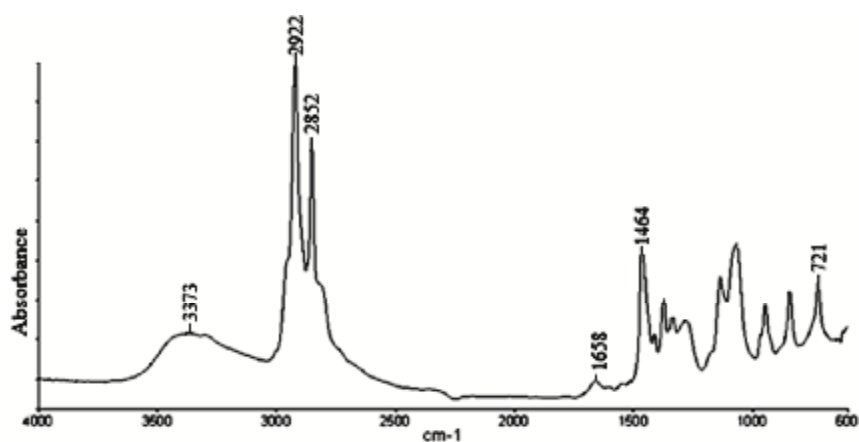


Рис. 2. ИК-спектр Dinoram SL

Характерные полосы описаны в табл. 4.

Таблица 4

## Расшифровка ИК-спектра Dinoram SL

Частота, см <sup>-1</sup>	Характеристика
3373	валентные колебания NH-групп
2922	валентные антисимметричные колебания CH <sub>2</sub> -групп
2852	валентные колебания CH-связей
1464	ножничные деформационные колебания CH <sub>2</sub> -групп
721	маятниковые колебания CH <sub>2</sub> -групп

Производитель описывает Dinoram SL как производное N-алкил «жир» полипропилен полиамина. По всей видимости, он представляет собой органическое вещество, поверхностная активность которого основана на содержании вторичных аминов. Нерастворимый в воде, Dinoram SL образует дисперсию в горячей воде и растворимые соли при добавлении органических или неорганических кислот (например, уксусная или соляная кислота). Данные соли используются в качестве катионных эмульгаторов.

## Secabase 200

Также был идентифицирован Secabase 200 (Arkema Group) – смесь алкил амидо-полиаминов и алкил имидазо-полиаминов. СЕКАБАЗ 200 является термостабильной адгезионной добавкой для:

- чистого или полимер-модифицированного битума для горячих и теплых асфальтобетонов,
- флюксованного битума, применяемого для поверхностной обработки и холодных асфальтобетонов.

Физико-химические свойства ПАВ Secabase 200 SL представлены в табл. 5.

Таблица 5

## Технические свойства Secabase 200

Характеристики	Единицы	Показатели
Внешний вид при 25°C	-	жидкость
Щелочность по перхлорату	мл HClO <sub>4</sub> (N)/г	5,70-6,50
Точка застывания	°C	Не более 10
Точка воспламенения	°C	145
Удельная плотность при 20°C	кг/м <sup>3</sup>	970
Вязкость при 20°C	мПа·с	5800

Нерастворимый в воде Секабаз 200 растворяется в чистом и полимермодифицированном битуме.

На рис. 3 представлен ИК-спектр Secabase 200.

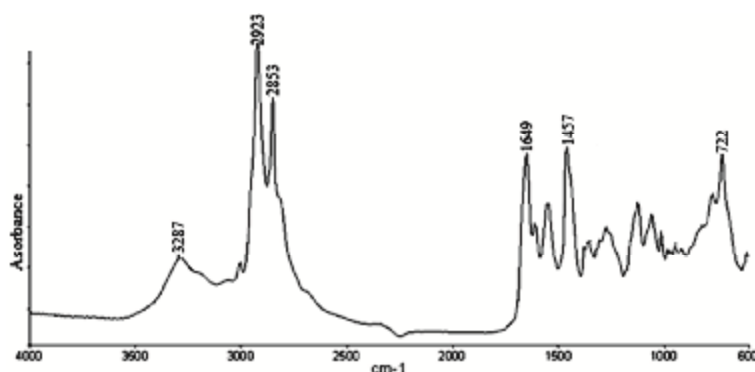


Рис. 3. ИК-спектр Secabase 200

Описание характеристических полос спектра показано в табл. 6.

Таблица 6

## Расшифровка ИК-спектра Secabase 200

Частота, см <sup>-1</sup>	Характеристика
3287	валентные колебания NH-групп
2923	валентные антисимметричные колебания CH <sub>2</sub> -групп
2853	валентные колебания CH-связей
1649	валентные колебания карбонильных групп в третичных амидах
1457	ножничные деформационные колебания CH <sub>2</sub> -групп
722	маятниковые колебания CH <sub>2</sub> -групп

Secabase 200 заявляется производителем как смесь алкил амидо-полиаминов и алкил имидазо-полиаминов. Спектр Secabase 200 не содержит новых пиков – все они представлены либо в спектре Азол 1002, либо в спектре Dinogam SL. По результатам ИК-спектроскопии можно сделать вывод, что Secabase 200 практически идентичен по составу Азолу-1002.

**Азол 1003В**

Азол 1003В (ОАО «Котласский химический завод») представляет собой поверхностно-активное вещество (ПАВ) амфолитного типа на основе природных продуктов и фосфатидов растительных масел. Эта адгезионная добавка по утверждению производителей имеет ту же область применения, что и Азол 1002: она применяется для улучшения адгезии битумных и полимерно-битумных вяжущих к минеральной части асфальтобетонных смесей, а также в качестве стабилизатора свойств битума при производстве асфальтобетонных смесей в дорожном строительстве.

Технические свойства Азол 1003 В представлены в табл. 7.

Таблица 7

## Технические свойства Азол 1003 В

Наименование показателей	Норма
1. Внешний вид при 20°C	Текучая масса тёмно-коричневого цвета
2. Массовая доля нелетучих веществ, %, не менее	99,0
3. Вязкость условная по ВУБ-1Ф с соплом 5 мм при 50°C, не более	180
4. Температура вспышки, °С, не ниже	230
5. Сцепление битумного вяжущего, в котором растворена Адгезионная добавка Азол 1003 марка В, с поверхностью щебня	4-5

На рис. 4 показан ИК-спектр Азола 1003-В.

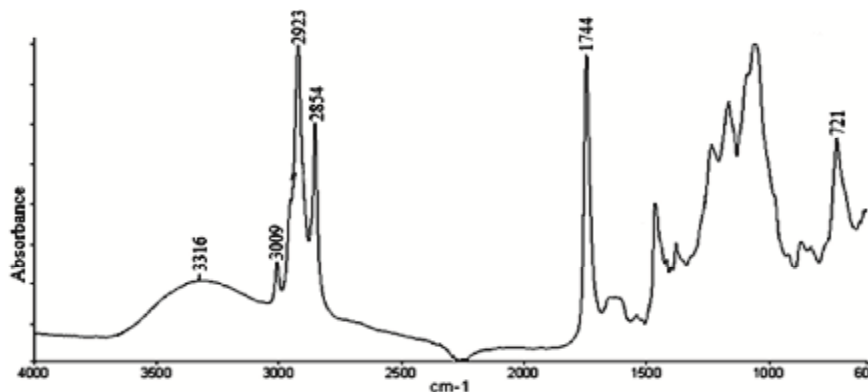


Рис. 4. ИК-спектр Азола 1003-В

В табл. 8 приведена расшифровка данного спектра.

Таблица 8

## Расшифровка ИК-спектра Азола 1003-В

Частота, см <sup>-1</sup>	Характеристика
3316	комбинированная частота: валентные колебания катионов аммония (водородная связь) + связанная ОН-группа
2923	валентные антисимметричные колебания СН <sub>2</sub> -групп
2854	валентные колебания СН-связей
1744	валентные колебания С=О-групп

Этот ПАВ позиционируется как вещество амфолитного типа на основе фосфатидов растительных масел, что подтверждается данными ИК-спектра. Катионные свойства данного ПАВ обусловлены наличием аминогруппы, в то время как анионактивность обуславливается содержанием карбоксильной группы.

**Амдор-20Т**

Также был проанализирован состав одной из наиболее используемой добавки Амдор-20Т (ЗАО Амдор) – по описанию производителя, представляет собой кислотно-полимерную присадку. Отличается от присадок аминного типа химической природой и свойствами. Рекомендуется для модификации битума на битумных производствах и базах хранения перед отгрузкой потребителям, а также для повышения адгезии полимербитумного вяжущего. Максимальный эффект от введения присадки достигается при интенсивном перемешивании с битумом не менее 3 часов при температуре 140-180 °С. При этом в результате химического взаимодействия присадки с компонентами горячего битума происходит нарастание модифицирующих свойств с последующей их стабилизацией и сохранением в течение нескольких суток.

При использовании присадки «АМДОР-20Т» для модификации битумполимерных вяжущих дозировка присадки возможна либо на стадиях перед введением полимера, либо совместно с введением полимера, или после введения полимера с последующим проходом вяжущего с присадкой через диспергатор, что способствует более полному диспергированию присадки в битуме, а последующая выдержка битумполимерных вяжущих для «дозревания» гарантирует достижение заданных адгезионных свойств.

При введении присадки непосредственно в линию подачи битума в асфальтосмеситель необходимо избегать смешения «АМДОР-20Т» с аминоксодержащими присадками.

Адгезионная присадка «АМДОР-20Т» дозируется в битум в концентрации от 0,1 до 0,4 % в зависимости от типа щебня и качества битума, обеспечивая степень покрытия поверхности щебня 90-100 %. Представляет собой водорастворимый, биоразлагаемый продукт на основе эфиров фосфорной кислоты.

Физические свойства «АМДОР-20Т» представлены в табл. 9.

Таблица 9

**Физические свойства «АМДОР-20Т»**

Внешний вид при 20 °С	Подвижная вязкая жидкость, обладающая кислотными свойствами, от светло-желтого до коричневого цвета
Показатели сцепления с минеральным материалом битума, содержащего 0,15-0,5 % присадки, по ГОСТ 12801-84	4ч5 баллов
Температура потери текучести, не выше, °С	Минус 3
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	1250ч1300
Вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при:	
10°С	1750
20°С	1100
30°С	600
40 °С	250

На рис. 5 показан ИК-спектр нового поверхностно-активного вещества Амдор-20Т.

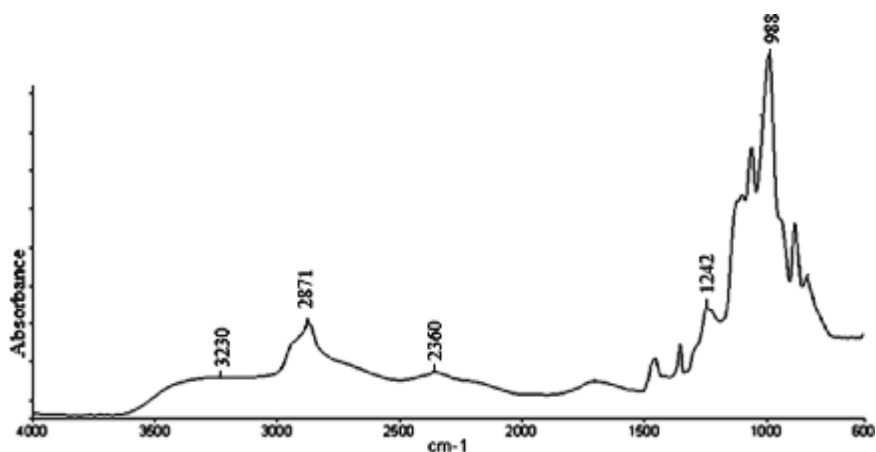


Рис. 5. ИК-спектр Амдора-20Т

Описание характеристических пиков представлено в табл. 10.

Таблица 10

#### Расшифровка ИК-спектра Амдора-20Т

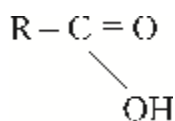
Частота, см <sup>-1</sup>	Характеристика
3230	комбинированная частота: валентные колебания катионов аммония (водородная связь) + связанная ОН-группа
2871	симметричные валентные колебания СН <sub>3</sub> -групп
2360	валентные колебания Р-Н-групп
1242	валентные колебания Р=О-групп
988	деформационные колебания С-Н связей

Амдор-20Т существенно отличается от других изученных ПАВ. Он описывается производителем как продукт на основе эфиров фосфорной кислоты. Подчеркивается также, что он не является поверхностно-активным веществом аминного типа. На спектре действительно видны фосфорограницеские соединения, а также водородные связи. Отсутствие ярко выраженных пиков, соответствующих аминным и карбоксильным группам, позволяет предположить, что это ПАВ является неионогенным. Кроме того, производитель называет Амдор-20Т «кислотно-полимерной присадкой». Можно предположить, что молекулярная масса Амдор-20Т выше, чем у традиционных ПАВ.

#### ОПХМ

Последний исследуемый состав – ОПХМ является кубовым остатком дистилляции жирных кислот хлопкового масла, а значит является анионоактивным ПАВ, визуально представляет собой пастообразную массу коричневого цвета, которая при нагревании до 50-60°C переходит в жидкое состояние.

Общая молекулярная формула высших жирных кислот:



где R – углеводородный радикал.

Жирнокислотный состав и основные характеристики ОПХМ представлены в табл. 11-12.

Таблица 11

**Жирнокислотный состав ОПХМ**

Состав, мас. %	ОПХМ
миристиновая C14:0	0,5-1,0
пальмитиновая C16:0	15-20
пальмитолеиновая C16:1	-
стеариновая C18:0	1-2
олеиновая C18:1	20-25
линолевая C18:2	30-40
линоленовая C18:3	-
арахиновая C20:0	-
гадолеиновая C20:1	-
бегеновая C22:0	-
эруковая C22:1	-

Таблица 12

**Основные характеристики ОПХМ**

Свойства	ОПХМ
Содержание мономерных кислот, % мас.	30
Содержание олигомерных кислот, % мас.	70
Кислотное число, мг КОН/г	110-125
Число омыления, мг КОН/г	150-165
Иодное число, гJ2 /100 г	80-90
Водородный показатель, рН	10-11,4
Среднечисловая молекулярная масса	1130
Среднемассовая молекулярная масса	1500
Полидисперсность	1,33
Содержание жировых веществ, % мас.	84-88
Содержание нежировых веществ, % мас.	4-6
Содержание воды, % мас.	8-10
Содержание золы, % мас., не более	0,4-0,6
Температура застывания, °С	35-40
Температура вспышки, °С	250

**Числа омыления выбранных ПАВ**

Для определения содержания свободных кислот и эфиров были установлены числа омыления изучаемых ПАВ. Результаты показаны в табл. 13.

Таблица 13

**Числа омыления изучаемых ПАВ**

№	ПАВ	Число омыления
1	Амдор 20Т	14,6
2	ОПХМ	11,4
3	Dinoram SL	8,66
4	Азол 1003 В	8,42
5	Азол 1002	7,50
6	Secabase 200	7,43

Из таблицы видно, что выбранные катионактивные ПАВ содержат меньше свободных кислот и эфиров, чем анионактивный ОПХМ и неионогенный Амдор-20Т. Среди катионактивных ПАВ наибольшее число омыления имеет Dinoram SL.



Наименьшее – Secabase 200. Интересно отметить, что схожие по составу Азол 1002 и Secabase 200 показали почти одинаковые результаты. Невозможно, однако, прямо утверждать, что катионактивные ПАВ имеют меньшие числа омыления, так как амфолитный Азол 1003В оказался в таблице ниже Dinogam SL. Отметим, что содержание свободных кислот и эфиров важно с точки зрения идентификации состава поверхностно-активных веществ, однако не характеризует напрямую их поверхностную активность.

### Заключение

По проделанной работе можно сделать следующие выводы:

1. Азол-1002 представляет собой катионактивный ПАВ на основе амидоаминов и имидазолинов жирных кислот.
2. Dinogam SL представляет собой органическое вещество, поверхностная активность которого основана на содержании вторичных аминов.
3. Secabase 200 практически идентичен по составу Азолу-1002.
4. Азол-1003В – это вещество амфолитного типа.
5. Амдор-20Т, вероятно, является неионогенным ПАВ. Возможно, молекулярная масса Амдор-20Т выше, чем у изученных ПАВ. Он также имеет наибольшее число омыления.
6. ОПХМ является анионактивным ПАВ.

Полученные результаты позволяют предположить механизм воздействия ПАВ на битумные вяжущие и их адгезионную способность, прогнозировать их эффективность при стабилизации ПБВ с различным типом полимеров.

### Список библиографических ссылок

1. Nuriev M. A., Murafa A. V., Makarov D. B., Khozin V. G. Waterproofing latex-bitumen emulsions // *Polymer Science. Series D*. 2008. Т. 1. С. 132–134.
2. Тенников А. А., Абдуллин А. И., Емельянычева Е. А., Абдуллина В. Х. Оценка эмульгирующей способности цвиттерионных ПАВ при создании водобитумных эмульсий // *Вестник Технологического университета*. 2018. Т. 21. № 3. С. 90–93.
3. Rossi C. O., Teltayev B., Angelico R. Adhesion promoters in bituminous road materials: a review // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2017. Т. 7. № 5. С. 524–534.
4. Соломенцев А. Б., Мосюра Л. С., Анахин Н. Ю., Грошев Н. Г. Исследование физико-механических свойств асфальтовяжущего с адгезионными добавками // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. № 1-4 (55). С. 124–127.
5. Lehtonen M., Merinen M., Mikkonen K. S., Kilpelainen P. O., Xu C., Willfor S. M. Phenolic residues in spruce galactoglucomannans improve stabilization of oil-in-water emulsions // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2018. Т. 512. С. 536–547.
6. Богданова С. А., Гатауллин А. Р., Шевцова С. А., Галяметдинов Ю. Г. Модификация латексов дисперсиями углеродных нанотрубок // *Вестник Технологического университета*. 2018. Т. 21. № 2. С. 5–8.
7. Аюпов Д. А., Мурафа А. В., Хакимулин Ю. Н. Модификация дорожных битумов радиационными регенератами бутиловых резин // *Строительные материалы*. 2009. № 12. С. 44–45.
8. Шыхалиев К. С., Алиева З. Н. Модификация битума с полиэтиленовыми отходами // *Проблемы современной науки и образования*. 2017. № 16 (98). С. 14–17.
9. Аюпов Д. А., Мурафа А. В., Потапова Л. И., Ягунд Э. М., Макаров Д. Б., Казакулов Р. И., Хакимуллин Ю. Н. Эпоксидированный силан как сшивающий агент между битумом и полимерным модификатором // *Известия КГАСУ*. 2015. № 4 (34). С. 253–258.
10. Пактер М. К., Беспалов В. Л., Самойлова Е. Э., Стукалов А. А., Ананьев Е. В., Науменко Д. С. Влияние модификации нефтяного дорожного битума реакционноспособными олигомерами на его термоокислительную стабильность в слоях различной толщины // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2017. № 2 (124). С. 45–52.

**Ayupov Damir Alievich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [ayupov\\_damir@rambler.ru](mailto:ayupov_damir@rambler.ru)**Potapova Ludmila Illynichna**

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: [ludmilapo@mail.ru](mailto:ludmilapo@mail.ru)**Kazakulov Rauf Ildarovich**

engineer

E-mail: [Rauf-kazakulov@mail.ru](mailto:Rauf-kazakulov@mail.ru)**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Khakimullin Yuri Nurievich**

doctor of technical sciences, professor

E-mail: [hakim123@rambler.ru](mailto:hakim123@rambler.ru)**Kazan National Research Technological University**

The organization address: 420015, Russia, Kazan, K. Marksa st., 72

**Road surfactants composition investigation****Abstract**

*Problem statement.* In this article the composition and structure of surfactants, which are used in road construction as adhesion additives, were investigated. The main task was the identification of surfactant compositions, what allows to suggest the mechanism of their influence on bituminous binders and stone materials.

*Results.* The surfactants IR spectra were studied deciphered. Surfactants numbers of saponification are determined.

*Conclusions.* The significance of the obtained results for the construction industry is that they allow us to suggest the mechanism of surfactants influence on bituminous binders and their adhesiveness, to predict their effectiveness in stabilizing of polymer bituminous compositions with different types of polymers.

**Keywords:** bitumen, surfactants, adhesives, bitumen modification, road surfactants, bitumen adhesion, adhesion to stone.

**References**

1. Nuriev M. A., Murafa A. V., Makarov D. B., Khozin V. G. Waterproofing latex-bitumen emulsions // Polymer Science. Series D. 2008. Vol. 1. P. 132–134.
2. Tennikov A. A., Abdullin A. I., Emel'yanycheva E. A., Abdullina V. H. Zwitterionic surfactants emulsifying ability during creating water-bitumen emulsions evaluation // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2018. Vol. 21. № 3. P. 90–93.
3. Rossi C. O., Teltayev B., Angelico R. Adhesion promoters in bituminous road materials: a review // Applied Sciences (Switzerland). 2017. Vol. 7. № 5. p. 524–534.
4. Solomentsev A. B., Mosyura L. S., Anahin N. Y., Groshev N.G. Physicomechanical properties of asphalts with adhesion additives investigation // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2017. № 1-4 (55). P. 124–127.
5. Lehtonen M., Merinen M., Mikkonen K. S., Kilpeläinen P. O., Xu C., Willför S. M. Phenolic residues in spruce galactoglucomannans improve stabilization of oil-in-water emulsions // Journal of Colloid and Interface Science. 2018. Vol. 512. P. 536–547.
6. Bogdanova S. A., Gataullin A. R., Shevtsova S. A., Galyametdinov Yu. G. Modification of latexes by carbon nanotubes dispersions // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2018. Vol. 21. № 2. P. 5–8.

7. Ayupov D. A., Murafa A. V., Khakimulin Yu. N. Modification of road bitumen by radiation regenerants of butyl rubbers // *Stroitel'nye materialy*. 2009. № 12. P. 44–45.
8. Shikhaliev K. S., Aliyeva Z. N. Modification of bitumen with polyethylene waste // *Problemy sovremennoj nauki i obrazovaniya*. 2017. № 16 (98). P. 14–17.
9. Ayupov D. A., Murafa A. V., Potapova L. I., Yagund E. M., Makarov D. B., Kazakulov R. I., Khakimullin Yu. N. Epoxidized silane as crosslinking agent between bitumen and polymer modifier // *Izvestiya KGASU*. 2015. № 4 (34). P. 253–258.
10. Pakter M. K., Bepalov V. L., Samoylova E. E., Stukalov A. A., Ananyev E. V., Naumenko D. S. The effect of petroleum road bitumen modification by reactive oligomers on its thermal and oxidative stability in layers of various thicknesses // *Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury*. 2017. № 2 (124). P. 45–52.