



УДК: 665.775.5

DOI: 10.52409/20731523_2023_2_17

EDN: NACQDE



Стабилизация битумполимерных дисперсий поверхностно-активными веществами

Д.А. Аюпов¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Полимербитумные вяжущие широко применяются в дорожном и кровельном строительстве, для производства гидроизоляционных, герметизирующих и антикоррозионных материалов. Однако их хранение и, особенно, транспортировка затруднены ввиду высокой расслаиваемости. Для агрегационной и седиментационной стабилизации дисперсий при этом широко применяются поверхностно-активные вещества. Кроме того, они широко применяются в полимербитумных вяжущих, но не как стабилизаторы, а в качестве адгезионных присадок. Стабилизирующая эффективность их в вяжущих до сих пор не изучена. Эффективность поверхностно-активных веществ для стабилизации битумполимерных дисперсий известна на примере битумно-латексных водных эмульсий. Поверхностно-активные вещества в них используются в качестве эмульгаторов, однако эмульсии имеют, как правило, ещё большую расслаиваемость, чем полимербитумные вяжущие, что связано с низкой вязкостью дисперсионной среды. Всё это ограничивает возможности широкого производства и применения битумполимерных дисперсий: вяжущих и эмульсий. Поэтому исследование стабилизирующей эффективности применяемых в них поверхностно-активных веществ является актуальной задачей. Целью исследования является изучение стабилизирующей эффективности применяемых в полимербитумных вяжущих поверхностно-активных веществ и разработка эффективного поверхностно-активного вещества для получения устойчивых битумных эмульсий.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Изучение состава применяемых в полимербитумных вяжущих поверхностно-активных веществ.
2. Определение их влияния на свойства вяжущих.
3. Изучение стабилизирующей эффективности применяемых поверхностно-активных веществ.
4. Разработка эффективного поверхностно-активного вещества для стабилизации битумных эмульсий.
5. Изучение реологических свойств битумных эмульсий.
6. Изучение свойств битумполимерных вяжущих, получаемых коагуляцией битумных эмульсий.

Результаты. Основным результатом исследования поверхностно-активных веществ в полимербитумных вяжущих является вывод о их невысокой стабилизирующей эффективности. Для стабилизации битумных эмульсий разработано бинарное поверхностно-активное вещество. **Выводы.** Поверхностно-активные вещества для стабилизации полимербитумных вяжущих малоэффективны. Разработан эффективный бинарный эмульгатор для битумных эмульсий, позволяющий получать устойчивые битумные эмульсии.

Ключевые слова: стабильность ПБВ, расслаиваемость ПБВ, битумная эмульсия, ПБВ, напыляемая гидроизоляция, жидкая резина, эмульгатор.

Для цитирования: Аюпов Д.А. Стабилизация битумполимерных дисперсий поверхностно-активными веществами // Известия КГАСУ 2023 № 2 (64), с.17-26, DOI: 10.52409/20731523_2023_2_17, EDN: NACQDE

Stabilization of bituminous polymer dispersions by surfactants

D.A. Ayupov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Polymer bitumen binders are widely used in road and roof construction, as well as for the production of waterproofing, sealing and anti-corrosion materials. One of the most significant and common for all polymer modified bitumens (PMB) is their tendency to delamination, which complicates their storage and transportation. At the same time, it is known that surfactants can be effective stabilizers of dispersed systems. In addition, surfactants are widely used in PMBs, not as stabilizers, but as adhesive additives. Their stabilizing effectiveness in binders has not yet been studied. The effectiveness of surfactants for stabilizing bitumen-polymer dispersions is known by the example of bitumen-latex aqueous emulsions. Surfactants are used in them as emulsifiers, however, emulsions still have, as a rule, even greater stratification than PMB, which is associated with the low viscosity of the dispersion medium. All this significantly limits the possibilities for the wide production and use of bituminous polymer dispersions: binders and emulsions. Therefore, the study of the stabilizing effectiveness of the surfactants used in them is an urgent task.

The aim of the research is to study the stabilizing effectiveness of surfactants used to stabilize polymer bitumen binders and to develop an effective surfactant for stabilizing bitumen emulsions.

To achieve the goal, the following tasks were solved:

1. To study the composition of surfactants used in PMBs.
2. To determine their influence on the properties of binders.
3. To study the stabilizing effectiveness of the applied surfactants.
4. To develop an effective surfactant for the stabilization of bitumen emulsions.
5. To study the rheological properties of bitumen emulsions.
6. To study the properties of bitumen polymer binders obtained by coagulation of bitumen emulsions.

Results. The main result of the study of surfactants in PMB is the conclusion about their low stabilizing efficiency. A binary surfactant has been developed to stabilize bitumen emulsions.

Conclusions. Surfactants for PMB stabilization are ineffective. Alternative methods are needed to solve this problem. An effective binary emulsifier for bitumen emulsions has been developed.

Keywords: PMB stability, PMB delamination, bitumen emulsion, PMB, sprayed waterproofing, liquid rubber, emulsifier.

For citation: Ayupov D.A. Stabilization of bituminous polymer dispersions by surfactants // News KSUAE 2023 № 2 (64), с. 17-26, DOI: 10.52409/20731523_2023_2_17, EDN: NACQDE

1. Введение

Нефтяные битумы широко применяются в дорожном и кровельном строительстве, а также для производства гидроизоляционных, герметизирующих и антикоррозионных материалов [1-3]. Они обладают уникальным комплексом свойств: высокой адгезией к большинству строительных материалов, водостойкостью, водонепроницаемостью, химстойкостью, доступностью и относительно низкой стоимостью. Недостатки битумов: низкую теплостойкость, хрупкость при пониженных температурах, низкую эластичность и подверженность атмосферному старению - сегодня принято устранять модификацией - введением в битум полимеров, главным образом, бутадиен-стирольных термоэластопластов (СБС) [4-6].

За последние годы полимербитумные вяжущие (ПБВ) в значительной степени вытеснили с рынка немодифицированные битумы. Объем производства ПБВ в РФ за последние 11 лет увеличился в 30 раз, а доля их производства в общем объеме битумных вяжущих в РФ при этом выросла с 0,6% до 10,4%. В мире эта доля составляет 13%, а в

Европе 17%. Прогноз объемов производства ПБВ в РФ предполагает их увеличение до 2032 года ещё на 71%.

Применение ПБВ ограничено технологическими сложностями их хранения и, особенно, транспортировки ввиду высокой седиментационной неустойчивости. Согласно ГОСТ 52056-2003, ПБВ запрещается хранить без перемешивания в нагретом состоянии более 8 ч. А при транспортировании битумовоз каждые 2 ч должен останавливаться с целью перемешивания вяжущего. Поэтому сегодня асфальтобетонные заводы стараются не хранить модифицированное вяжущее, производя его лишь под конкретный объект целью быстрой выработки, а транспортное плечо для ПБВ намного ниже чистых битумов. Схожие проблемы и у других производителей и потребителей ПБВ, например, кровельных организаций.

Проблему агрегирования и седиментации в дисперсных системах успешно решают применением поверхностно-активных веществ (ПАВ) [7-9]. Кроме того, ПАВ широко применяются в ПБВ, но не как стабилизаторы, а в качестве адгезионных присадок [10]. Стабилизирующая эффективность их в вяжущих до сих пор не была изучена.

Эффективность ПАВ для стабилизации битумполимерных дисперсий известна на примере систем другого типа - битумно-латексных водных эмульсий. ПАВ в них используются в качестве эмульгаторов, однако эмульсии всё же имеют, как правило, ещё большую расслаиваемость, чем ПБВ, что связано с низкой вязкостью дисперсионной среды. В то же время возможность получения гидроизоляционных покрытий путем напыления таких дисперсий имеет ряд существенных преимуществ, главные из которых технологичность и бесшовность получаемых гидроизоляционных покрытий. Однако водно-битумные эмульсии, как и битумполимерные вяжущие, считаются строительным материалом с небольшим сроком хранения.

Всё это существенно ограничивает возможности широкого производства и применения битумполимерных дисперсий: вяжущих и эмульсий. Поэтому исследование стабилизирующей эффективности применяемых в них ПАВ является актуальной задачей.

Целью исследования является изучение стабилизирующей эффективности применяемых для стабилизации полимербитумных вяжущих ПАВ и разработка эффективного ПАВ для стабилизации битумных эмульсий.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Изучение состава применяемых в ПБВ поверхностно-активных веществ.
2. Определение их влияния на свойства вяжущих.
3. Изучение стабилизирующей эффективности применяемых ПАВ.
4. Разработка эффективного ПАВ для стабилизации битумных эмульсий.
5. Изучение реологических свойств битумных эмульсий.
6. Изучение свойств битумполимерных вяжущих, получаемых коагуляцией битумных эмульсий.

2. Материалы и методы

Объектом модификации был выбран нефтяной битум марки БНД 100/130 (ГОСТ 33133), (ООО Газпром нефтехим Салават).

В качестве СБС-модификатора применялся дивинилстирольный термоэластопласт марки ДСТ-30-01 производства АО «Воронежсинтезкаучук» (ГК Сибур).

В работе изучались следующие ПАВ:

Амдор-20Т (ЗАО «Амдор») - продукт на основе эфиров фосфорной кислоты. Производитель характеризует свой продукт как кислотно-полимерную присадку. В отличие от многих битумных ПАВ не является веществом аминного типа.

Азол 1002 (ОАО «Котласский химический завод») - катионный ПАВ на основе амидаминов и имидазолинов жирных кислот.

Азол 1003В (ОАО «Котласский химический завод») - ПАВ амфотерного типа на основе природных продуктов и фосфатидов растительных масел.

Dinoram SL («Arkema Group») – катионный ПАВ. По описанию производителя, производное N-алкил «жир» полипропилен полиамина. В воде не растворяется. Как и другие катионные ПАВ, более активен в виде соли после обработки кислотами.

Secabase 200 («Arkema Group») - смесь алкил амидо-полиаминов и алкил имидазо-полиаминов. Secabase 200 является термостабильной адгезионной добавкой для чистого или полимер-модифицированного битума.

Флотогудрон (ФГ) (ГК «Нэфис», г. Казань, ТУ 9147-146-00336562-2008) – это смесь вторичных гудронов, являющихся кубовым остатком от дистилляции жирных кислот, выделенных гудронов первичных растительных масел. Представляет собой смесь высших жирных кислот.

Дефекат (ОАО «Буинский сахарный завод») – фильтрационный осадок дефекации сахарного сока. Визуально представляет собой порошкообразную массу серого цвета. В процессе дефекации подогретый сахарный сок перемешивается с известью. Накопленный осадок называют дефекатом. Состав фильтрационного осадка включает:

- безазотистые органические вещества – пектиновые вещества, кальциевые соли лимонной, щавелевой, яблочной кислот и сапонин;
- азотистые соединения - скоагулированный белок;
- минеральная часть - кальциевые соли фосфорной кислоты, сульфаты.

СБС вводился в битум при температуре 165 °С. Амдор 20Т, Secabase 200 и ФГ вводились в битум одновременно с полимерным модификатором. Азолы 1002 и 1003В, а также Dinoram SL вводились при той же температуре в готовые ПБВ с последующим перемешиванием в течение 10 мин.

Для приготовления битумных эмульсий в разогретый до 50 °С водный раствор эмульгатора, находящийся в работающей коллоидной мельнице, тонкой струйкой, во избежание закипания воды, вливалась смесь битума с флотогудроном температурой 90 °С.

Составы выбранных ПАВ изучались методом ИК-спектроскопии. Спектры соединений регистрировали на Фурье-спектрометре Vector 22, (Bruker, Германия) в среднем ИК диапазоне (4000-400 см⁻¹), оптическое разрешение 4 см⁻¹, накопление 64 скана, время регистрации 16 сек. Программное обеспечение – OPUS фирмы Bruker.

Расслаиваемость, согласно ГОСТ EN 13399-2013, оценивалась по разнице температур размягчения верхней и нижней третьих частей вертикального цилиндра после 72 часов изотермической выдержки при температуре 180 °С.

3. Результаты и обсуждение

Методом ИК-спектроскопии изучены составы выбранных ПАВ. По наличию функциональных групп было выявлено, что Амдор 20Т является неионогенным, флотогудрон – анионоактивным, Азол 1003В – амфолитным, а Азол 1002, Dinoram SL и Secabase 200 – катионоактивными.

Зависимость температуры размягчения (T_p) битумполимерных вяжущих от концентрации ПАВ показана на рис. 1а.

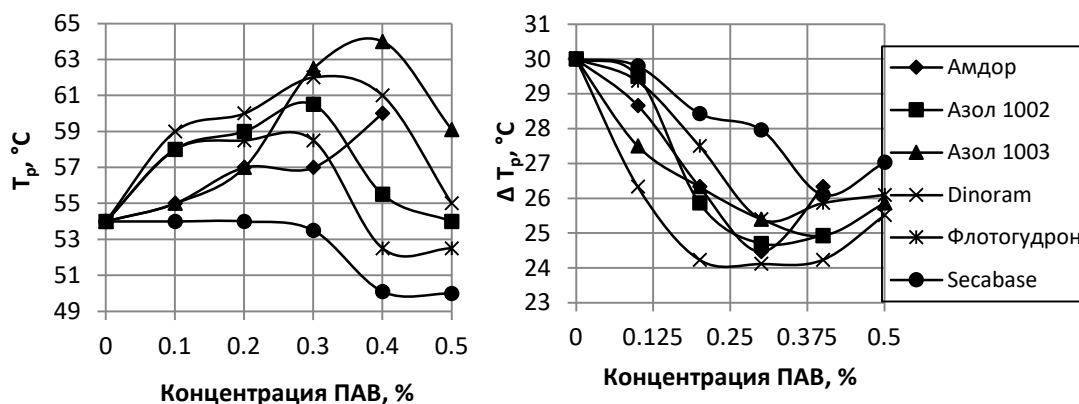


Рис. 1. Зависимости свойств ПБВ от концентрации ПАВ
а – температура размягчения, б – расслаиваемость (иллюстрация авторов)

Fig.1. Dependence of PMB properties on surfactant concentration
a - softening temperature, b – delamination (illustration by the authors)

Почти все ПАВ повышают T_p вяжущих, при этом кривые имеют максимумы при 0,3-0,4%. Положительный эффект, вероятно, связан с более равномерным распределением полимера в битуме, дальнейшее же снижение T_p связано с пластифицирующим действием избытка ПАВ на ПБВ. Secabase 200 является исключением и не увеличивает T_p . Амдор-20Т во всем интервале исследованных концентраций увеличивает теплостойкость вяжущего, что, вероятно, объяснимо большей молекулярной массой добавки. Наибольший прирост T_p – 10 °С – показал Азол 1003. Отметим также, что Азол 1002 оказался эффективнее Secabase 200, несмотря на их схожесть по составу.

На рис. 16 представлены зависимости расслаиваемости, определяемой по T_p , от концентрации ПАВ. Практически во всех образцах наблюдается расслоение: в верхней трети велико содержание полимера, в то время как нижняя треть представляет собой почти чистый битум. Наилучшим стабилизатором оказался Dinoram SL, но расслаиваемость оценивалась также и по пенетрации, температуре хрупкости, эластичности, где лучше других показал себя Амдор 20Т. Наименее эффективным оказался Secabase 200. По абсолютной величине стабилизирующий эффект ПАВ невелик: расслаиваемость снижается не более, чем на 20%.

Многие ПАВ проявляют поверхностную активность за счёт содержащихся в них свободных кислот и эфиров, что характеризуется числом омыления, которое и было определено (таблица 1).

Таблица 1

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

Как видно, в катионактивных ПАВ кислот и эфиров меньше, чем в анионактивном ФГ и неионогенном Амдор-20Т. Среди катионактивных ПАВ наибольшее число омыления имеет Dinoram SL. Наименьшее – Secabase 200, что коррелирует с отсутствием положительного эффекта на теплостойкость вяжущего при его введении. Схожие по составу Азол 1002 и Secabase 200 показали почти одинаковые результаты. Отметим, что для катионактивных ПАВ стабилизирующая эффективность коррелирует с их числами омыления.

Невозможно, однако, прямо утверждать, что катионактивные ПАВ имеют меньшие числа омыления. Так, например, амфолитный Азол 1003В оказался в таблице ниже Dinoram SL. Корреляция чисел омыления со стабилизирующей эффективностью ПАВ была подтверждена сталагмометрически по их влиянию на поверхностное натяжение вазелинового масла, моделирующего легкую фракцию битума (рис. 2).

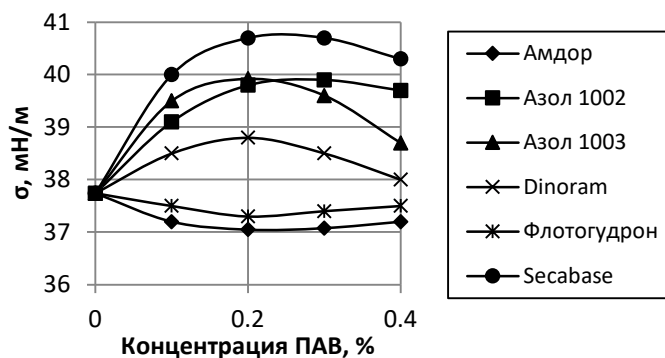


Рис. 2. Зависимость поверхностного натяжения вазелинового масла от концентрации ПАВ (иллюстрация авторов)

Fig. 2. The dependence of the vaseline oil surface tension on the concentration of surfactants (illustration by the authors)

По абсолютным значениям влияние ПАВ на поверхностное натяжение вазелинового масла невелико, поскольку масло не является электролитом. Кроме того, некоторые ПАВ даже повышают поверхностное натяжение масла. Интересно, однако, что порядок ПАВ по силе влияния на поверхностное натяжение совпадает с порядком ПАВ из таблицы 1. Значит, влияние ПАВ на поверхностное натяжение масла зависит от их чисел омыления, то есть от содержания в них свободных кислот и сложных эфиров.

Более эффективны ПАВ в битумных эмульсиях (БЭ). Однако неустойчивость эмульсий остается главным фактором, ограничивающим широкое их применение. Строительство при этом, являясь наиболее материалоёмкой отраслью, зачастую способно эффективно утилизировать отходы [11]. Широко применяются эмульгаторы из числа отходов [12]. Для анионных битумных эмульсий известны эмульгаторы, представляющий собой натриевые соли карбоновых кислот [13-16], однако по большей части такие эмульгаторы являются экзотическими, т.е. не имеют достаточной для внедрения тоннажности производства. Нами разработан комплексный эмульгатор, представляющий собой смесь в соотношении 3:2 дефектата (ДФ) и ФГ. Выбор обоих веществ обусловлен наличием в них карбоновых кислот. При этом если углеводородный радикал кислот флотогудрона содержит 14-18 атомов углерода, то радикал дефектата значительно короче – C₂-C₆, что при совместном их использовании может вызвать формирование смешанных адсорбционных слоев со сверхаддитивными эффектами. Кроме того, дефектат содержит неорганическую часть, что может повлечь структурно-механическую стабилизацию системы.

Эффективность смесового эмульгатора видна из рис. 3.

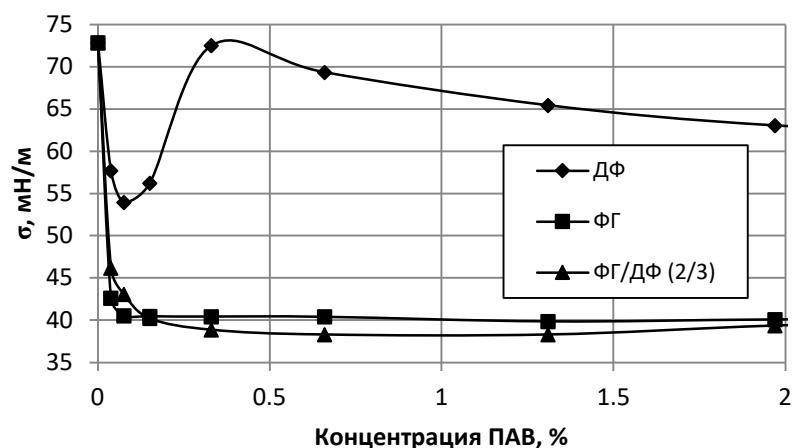


Рис. 3. Изотермы поверхностного натяжения водных растворов эмульгаторов (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Emulsifiers aqueous solutions surface tension isotherms (illustration by the authors)

На рисунке приведены сравнительные данные исследования ДФ и ФГ. Как видно, ДФ снижает значение поверхностного натяжения при малом содержании в воде. С повышением концентрации ДФ поверхностное натяжение резко возрастает, а затем постепенно убывает. ФГ более эффективен. Поверхностное натяжение смесового эмульгатора (ФГ+ДФ) изучалось при различных соотношениях компонентов (1:3; 2:3; 1:1; 3:2; 3:1). Наиболее эффективной оказалась смесь ДФ/ФГ в соотношении 3:2. Учитывая, что мицеллы ПАВ почти не снижают поверхностного натяжения раствора, резкое его понижение приходится на область концентраций до критической концентрации мицеллообразования (ККМ). Формирование смешанных адсорбционных слоев в мицеллах подтверждается смещением критической концентрации мицеллообразования смесового ПАВ в область больших значений по сравнению с каждым ПАВ в отдельности.

Исследование динамической вязкости БЭ с бинарным эмульгатором осуществлялось при концентрации ФГ=2% (рис. 4а). Выявлено, что для всех эмульсий, за исключением оптимальной (ДФ=3%) при скорости сдвига $\dot{\gamma} = 2,3 \text{ c}^{-1}$ наблюдается излом

реологической кривой в сторону перехода к ньютоновскому течению, что говорит о распаде эмульсии и снижении структурированности жидкости.

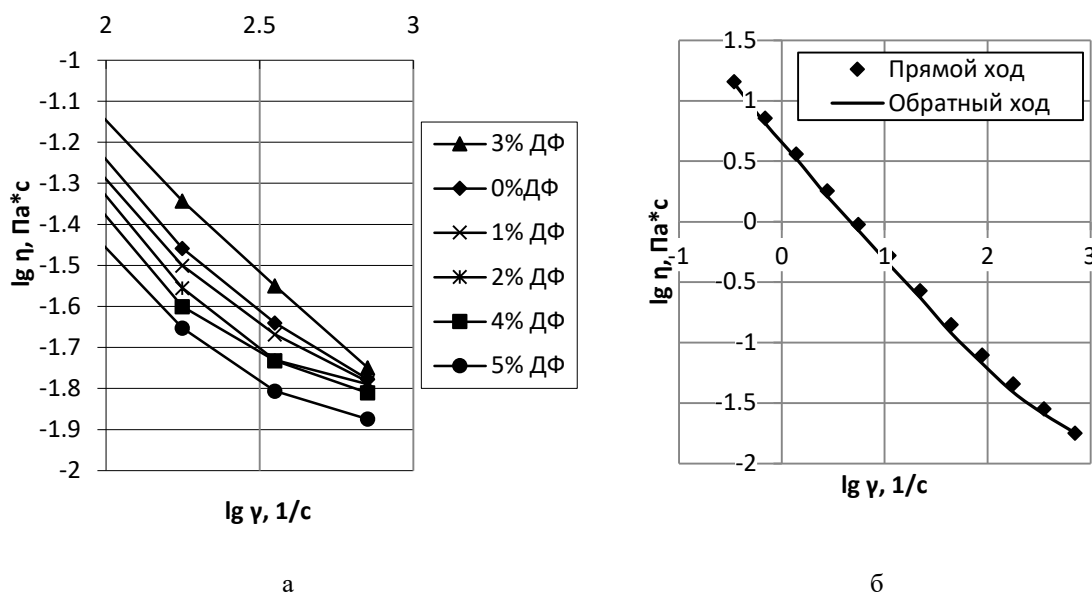


Рис. 4. Реологические кривые водных растворов ПАВ

а - зависимость вязкости битумных эмульсий от скорости сдвига при температуре 25 °С (по истечении 1 суток); б - реологический гистерезис битумной эмульсии при содержании смеси ПАВ 5% (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Aqueous solutions of surfactants rheological curves

а - dependence of the bitumen emulsions viscosity on the shear rate at a temperature of 25 °С (after 1 day); б - rheological hysteresis of bitumen emulsion with surfactant mixture content of 5% (illustration by the authors)

Устойчивость БЭ с оптимальным содержанием эмульгатора (ФГ/ДФ = 2/3) подтверждается реологическими кривыми, приведенными на рис. 4б. Верхняя кривая была получена при увеличении скорости сдвига в реометре, а нижняя – при уменьшении. Видно, что эмульсия восстанавливает свою структуру после снятия нагрузки.

Результаты модификации латексами разработанной БЭ на смесевом ПАВ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Свойства битумных композиций, полученных из битумных и битумно-полимерных эмульсий

Свойства	Вид эмульгатора и модификатора						ГОСТ 33133
	ДФ:ФГ (3:2)	ДФ:ФГ (3:2) + Dispercoll 10%	ДФ:ФГ (3:2) + Luprene 10%	ДФ:ФГ (3:2) + СКС 10%	ДФ:ФГ (3:2) + ДВХБ-70 10%	ДФ:ФГ (3:2) + ДВХБ-Ш 10%	
Температура размягчения, °С	50	58	57	55	54	53	45
Пенетрация, 0,1 мм	105	57	59	65	90	103	101-130
	28,6	27	26	30	48	39	30
Дуктильность, см	47	14	15	16	33	31	70
Эластичность, %	29,4	91	85	71	60	44	-

Введение в битумные эмульсии полимерных модификаторов существенно улучшает основные свойства битумных композиций, полученных из этих эмульсий. Наиболее эффективными показали себя винилиденхлоридные латексы, увеличивающие теплостойкость, твердость и эластичность вяжущих.

Построение концентрационных зависимостей свойств показало, что оптимальной концентрацией латексов в БЭ следует считать 6%, при которой свойства и самих эмульсий, и вяжущих, выделенных из них, не только отвечают требованиям ГОСТ, но и превышают их.

4. Заключение

Таким образом, на основании проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Методом ИК-спектроскопии изучены составы выбранных ПАВ. По наличию функциональных групп было выявлено, что Амдор 20Т является неионогенным, флотогудрон – анионоактивным, Азол 1003В – амфолитным, а Азол 1002, Dinoram SL и Secabase 200 – катионоактивными.

2. Концентрационные зависимости свойств носят экстремальный характер с максимумами при 0,3-0,4%. Экстремальные концентрации, вероятно, являются критическими концентрациями мицеллообразования.

3. Secabase 200 не оказывает положительного влияния на высокотемпературные свойства и термостабильность вяжущих, эффективнее других себя проявил Амдор-20Т.

4. Стабилизирующая эффективность ПАВ не превышает 20%.

5. Отход производства сахарной свеклы – дефекаат – может выступать эффективным эмульгатором анионного типа при производстве битумных эмульсий.

6. Разработана реологически устойчивая битумная эмульсия на бинарном ПАВ.

7. При модификации эмульсий латексами повышается теплостойкость, твердость, эластичность битумно-латексных композиций.

Список литературы/References

1. Казаринов А.Е., Каменчуков А.В., Лопашук А.В., Лопашук В.В., Рудакова Я.М. Современные нежесткие дорожные одежды с расстоянием между температурными трещинами более 1000 метров // В сборнике: Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. Межвузовский сборник научных трудов. Хабаровск. 2023. С. 35-42. [Kazarinov A.E., Kamenchukov A.V., Lopashuk A.V., Lopashuk V.V., Rudakova Ya.M. Modern non-rigid pavement with a distance between thermal cracks of more than 1000 meters // In the collection: Far East. Highways and traffic safety. Interuniversity collection of scientific papers. Khabarovsk. 2023. P. 35-42].
2. Ярцев В.П., Мамонтов С.А., Сучков К.О., Сучкова И.Г. Опыт модификации битумного вяжущего кожевенными отходами // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 163-166. [Yartsev V.P., Mamontov S.A., Suchkov K.O., Suchkova I.G. Experience in modifying bituminous binder with leather waste // Expert: theory and practice. 2023. No. 1 (20). P. 163-166].
3. Хафизов Э.Р., Минкин Б.М. Битум-полимерные вяжущие для дорожного строительства с применением продукции нефтехимического комплекса Республики Татарстан // В сборнике: Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2013. С. 406-409. [Khafizov E.R., Minkin B.M. Bitumen-polymer binders for road construction using products of the Republic of Tatarstan petrochemical complex // In the collection: Innovative materials, technologies and equipment for the construction of modern transport facilities. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. 2013. P. 406-409].
4. Khamad R. Estimation of fuel resistance of asphalt concrete and polymer modified asphalt concrete // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. Т. 3. № 11 (75). С. 35-38. [Khamad R. Estimation of fuel resistance of asphalt concrete and polymer modified asphalt concrete // Eastern European Journal of Advanced Technologies. 2015. Vol. 3. No. 11 (75). P. 35-38].

5. Joohari I.B., Giustozzi F., Maniam S. Enhancing the storage stability of SBS-plastic waste modified bitumen using reactive elastomeric terpolymer // International Journal of Pavement Research and Technology. 2023. 16. – P. 304-318.
6. Соломенцев А.Б., Режист М., Жозеф Ш.М. Оценка технологических температур асфальтобетонных смесей для улично-дорожной сети с использованием различных пластификаторов полимерно-битумных вяжущих // Наукосфера. 2023. № 2-1. С. 196-205. [Solomentsev A.B., Regist M., Joseph Sh.M. Evaluation of technological temperatures of asphalt concrete mixtures for the road network using various plasticizers, polymer-bitumen binders // Science sphere. 2023. No. 2-1. P. 196-205].
7. Маммедова П.Б., Велиева М.Н., Агамалиева А.Дж. Приготовление наноэмульсии на основе нафталановой нефти современной технологией // Sciences of Europe. 2023. № 111 (111). С. 22-27. [Mammedova P.B., Velieva M.N., Agamalieva A.J. Preparation of nanoemulsions based on naftalan oil using modern technology // Sciences of Europe. 2023. No. 111 (111). P. 22-27].
8. Легкий Ф.В., Друзь Ю.И., Удоратина Е.В. Использование нанокристаллической целлюлозы как стабилизатора эмульсии нефть-вода для устранения загрязнения сырой нефтью. // Химия в интересах устойчивого развития. 2023. Т. 31. № 1. С. 40-48. [Legky F.V., Druz Yu.I., Udoratina E.V. Use of nanocrystalline cellulose as an oil-water emulsion stabilizer to eliminate crude oil contamination. // Chemistry for sustainable development. 2023. V. 31. No. 1. P. 40-48].
9. Тенников А.А., Горячев А.А., Емельянычева Е.А., Башкирцева Н.Ю. Исследование и подбор компонентов для водо-битумных эмульсий // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2023. № 1. С. 9-13. [Tennikov A.A., Goryachev A.A., Emelyanycheva E.A., Bashkirtseva N.Yu. Research and selection of components for water-bitumen emulsions // Oil refining and petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices. 2023. No. 1. P. 9-13].
10. Ядыкина В.В., Денисов В.П., Акимов А.Е. Старение битума, модифицированного полимерно-битумным концентратом // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2022. № 1 (757). С. 22-30. [Yadykina V.V., Denisov V.P., Akimov A.E. Aging of bitumen modified with polymer-bitumen concentrate // Proceedings of higher educational institutions. Construction. 2022. No. 1 (757). P. 22-30].
11. Николаева Л.А., Вдовин Е.А., Голубчиков М.А., Мавлиев Л.Ф. Способы утилизации отработанного сорбента нефтепродуктов на основе шлама химводоочистки казанской ТЭЦ-1 // Экология и промышленность России. 2014. № 7. С. 18-20. [Nikolaeva L.A., Vdovin E.A., Golubchikov M.A., Mavliev L.F. Ways of utilization of the used sorbent of oil products based on the sludge of the chemical water treatment of the Kazan CHPP-1 // Ecology and Industry of Russia. 2014. No. 7. P. 18-20].
12. Мурафа А.В., Сибгатуллина Л.Ш., Макаров Д.Б., Хозин В.Г. Новые анионактивные битумные эмульсии для дорожных, кровельных и гидроизоляционных покрытий // Строительные материалы. 2005. № 11. С. 22-25. [A.V. Murafa, L. S. Sibgatullina, D. B. Makarov, V. G. Khozin New anionic bitumen emulsions for road, roofing and waterproofing coatings // Construction Materials. 2005. P. 22-25].
13. Хозин В.Г., Макаров Д.Б., Мурафа А.В., Рахматуллина А.П., Ахмедьянова Р.А., Ликумович А.Г., Гибадуллин Т.К., Мошков В.И. Битумная эмульсия / Патент на изобретение RU 2185878 C1, 27.07.2002. Заявка № 2001125205/04 от 13.09.2001. [Khozin V.G., Makarov D.B., Murafa A.V., Rakhmatullina A.P., Akhmedyanova R.A., Liakumovich A.G., Gibadullin T.K., Moshkov V.I. Bituminous emulsion / Patent for invention RU 2185878 C1, 27.07.2002. Application No. 2001125205/04 dated 09/13/2001].
14. Razali M. N., Ezatie Mohd Isa S. N., MdSalehan N. A., Musa M., Abd Aziz M. A., Nour A. H., Yunus R. M. Formulation of Emulsified Modification Bitumen from Industrial Wastes // Indonesian Journal of Chemistry. 2020. Vol. 20 (1). P. 96 – 104. DOI:10.22146/ijc.40888.
15. Гарипов А.Р., Макаров Д.Б., Хозин В.Г., Степанов С.В. Тонкодисперсная битумная эмульсия для модификации цементного бетона дорожного назначения // Construction and Geotechnics. 2022. Т. 13. № 3. С. 85-97 [Garipov A.R., Makarov D.B., Khozin V.G., Stepanov S.V. Finely dispersed bitumen emulsion for the modification of cement concrete for road use // Construction and Geotechnics. 2022. Vol. 13. № 3. P. 85-97].

16. Nogueira, R. L., Soares, J. B., Soares, S. de A. Rheological evaluation of cotton seed oil fatty amides as a rejuvenating agent for RAP oxidized asphalts//Construction and Building Materials.2019. Vol.223. P. 1145–1153. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.06.

Информация об авторах

Дамир Алиевич Аюпов, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация.

Email: ayupov_damir@rambler.ru

Information about the authors

Damir A. Ayupov, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: ayupov_damir@rambler.ru