

## INVESTIGATION OF SURFACE PROPERTIES OF MODIFIED BITUMEN COMPOSITIONS

A.N. Dyuryagina\*, A.I. Degert, Y.S. Byzova, A.A. Lutsenko,  
T.V. Shirina, K.A. Ostrovnoy

M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan  
\*E-mail: [adyuryagina@inbox.ru](mailto:adyuryagina@inbox.ru)

**Abstract:** *Introduction.* One of the main reasons for premature destruction of road surfaces is the poor quality of road bitumen. An effective way to improve the quality of a bitumen binder is to modify it with polymer or surface-active additives. *The goal* is to determine the effect of the concentration of modifiers on surface tension in binary "bitumen-surfactant", "bitumen-polymer" and triple "bitumen-surfactant-polymer" systems. *The methodology* of the work included measuring the surface tension of modified bitumen systems depending on the quantitative content of additives in bitumen. *Results and discussion:* As follows from the analysis of the data obtained, in bitumen systems with a limited concentration of polymer AG-4I ( $C \leq 1 \text{ g/dm}^3$ ), the effect of reducing surface energy at the interface with air is achieved by concentrating surfactants in the surface layer, which are part of the structure of the bitumen itself. The extreme nature of the change in surface tension was also recorded in AC-2 bitumen compositions. *Conclusion:* In the "bitumen-AG-4I-AS-2" triple systems, the change in the specific surface energy at the "liquid-gas" interface is not an additive value, taking into account the separate contribution of AG-4I and AS-2. The concentration threshold of additives to achieve a minimum surface tension varies in comparison with binary compositions. With the combined administration of AG-4I ( $C=1\text{g/dm}^3$ ) and AC-2 ( $C=1\text{g/dm}^3$ ), the surface tension decreased by 9.30 mN/m compared with unmodified bitumen.

**Keywords:** bitumen modification, polymer, surfactant, surface tension, surface properties.

---

<i>Dyuryagina Antonina Nikolaevna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, Professor, Head of department of Chemistry and Chemical Technologies, e-mail: <a href="mailto:adyuryagina@inbox.ru">adyuryagina@inbox.ru</a></i>
<i>Degert Alyona Ivanovna</i>	<i>PhD student, <a href="mailto:helena.dgrt@bk.ru">helena.dgrt@bk.ru</a></i>
<i>Byzova Yuliya Sergeevna</i>	<i>Master of chemistry, lecturer, <a href="mailto:yuliyabyzovva@gmail.com">yuliyabyzovva@gmail.com</a></i>
<i>Lutsenko Aida Alexandrovna</i>	<i>PhD, Associate Professor, e-mail: <a href="mailto:1-a.13@mail.ru">1-a.13@mail.ru</a></i>
<i>Ostrovnoy Kirill Aleksandrovich</i>	<i>Master of chemistry, senior lecturer, e-mail: <a href="mailto:kostrovnoy@mail.ru">kostrovnoy@mail.ru</a></i>
<i>Shirina Tatyana Valerievna</i>	<i>Master of Pedagogical Sciences, lecturer, e-mail: <a href="mailto:tshirina@internet.ru">tshirina@internet.ru</a></i>

---

**Citation:** Dyuryagina A.N., Degert A.I., Byzova Y.S., Lutsenko A.A., Shirina T.V., Ostrovnoy K.A. Investigation of surface properties of modified bitumen compositions. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 2(86), 105-114. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-2.2710-1185.26>

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИТУМНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

*А.Н. Дюрягина\**, *А.И. Дегерт*, *Ю.С. Бызова*, *А.А. Луценко*, *Т.В. Ширина*, *К.А. Островной*  
НАО «Северо-Казахстанский Университет им. М.Козыбаева», Петропавловск, Казахстан  
\*E-mail: [adyuryagina@inbox.ru](mailto:adyuryagina@inbox.ru)

**Резюме.** *Введение.* Одной из основных причин преждевременного разрушения дорожных покрытий является низкое качество дорожных битумов. Эффективным способом повышения качества битумного вяжущего является его модифицирование полимерными либо поверхностно-активными аддитивами. *Цель* – определение влияния концентрации модификаторов на поверхностное натяжение в бинарных «битум-ПАВ», «битум-полимер» и тройных «битум-ПАВ-полимер» системах. *Методология работы* включала измерение поверхностного натяжения модифицированных битумных систем в зависимости от количественных содержаний аддитивов в битуме. *Результаты и обсуждение:* Как следует из анализа полученных данных, в битумных системах с ограниченной концентрацией полимера АГ-4И ( $C \leq 1$  г/дм<sup>3</sup>) эффект снижения поверхностной энергии на межфазной границе с воздухом достигается за счет концентрирования в поверхностном слое ПАВ, входящих в структуру самого битума. Экстремальный характер изменения поверхностного натяжения был зафиксирован и в битумных композициях АС-2. Для АС-2 характерно меньшее снижение поверхностного натяжения, а также смещения минимума в область более высоких концентраций аддитива. *Заключение.* В тройных системах «битум-АГ-4И-АС-2» концентрационный порог аддитивов для достижений минимума поверхностного натяжения изменяется в сравнении с бинарными композициями. При совместном введении АГ-4И ( $C=1$ г/дм<sup>3</sup>) и АС-2 ( $C=1$ г/дм<sup>3</sup>) поверхностное натяжение уменьшилось на 9.30 мН/м сравнении с не модифицированным битумом.

**Ключевые слова:** модифицирование битума, полимер, поверхностно-активные вещества, поверхностное натяжение, поверхностные свойства.

<i>Дюрягина Антонина Николаевна</i>	<i>Кандидат химических наук, профессор</i>
<i>Дегерт Алена Ивановна</i>	<i>докторант</i>
<i>Бызова Юлия Сергеевна</i>	<i>Магистр естественных наук, преподаватель</i>
<i>Луценко Аида Александровна</i>	<i>PhD, доцент</i>
<i>Ширина Татьяна Валерьевна</i>	<i>Магистр педагогических наук, преподаватель</i>
<i>Островной Кирилл Александрович</i>	<i>Магистр естественных наук, старший преподаватель</i>

**1. Введение**

Одной из основных причин преждевременного разрушения дорожных покрытий является низкое качество дорожных битумов [1-2]. Битумы не обладают необходимыми адгезионными свойствами и формируемые на их основе асфальтобетонные покрытия не способны, в условиях постоянного увеличения интенсивности движения и грузоперевозок, обеспечить требуемые физико-механические свойства и долговечность [3-4].

Как свидетельствует мировая практика [5-7], эффективным способом повышения качества битумного вяжущего является его модифицирование. Наиболее известным и широко применяемым модификатором в дорожном строительстве являются различные поверхностно-активные вещества (ПАВ). Концентрируясь на поверхности раздела фаз, ПАВ вызывают снижение поверхностного натяжения, что приводит к увеличению

адгезионного сцепления битумного вяжущего с минеральным наполнителем в составе асфальтобетона [8-10].

Современные научные исследования [11-12] показали возможность расширения спектра модифицирования битумного связующего, если в его состав одновременно ввести в качестве аддитивов как ПАВ, так и полимер. Совместное введение аддитивов может обеспечить кардинальное изменение поверхностных свойств битума. Данное исследование направлено на определение влияния концентрации аддитивов на поверхностное натяжение ( $\sigma_{ж-г}$ ) в бинарных «битум-ПАВ», «битум-полимер» и тройных «битум-ПАВ-полимер» системах.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1 Материалы

1. Окисленный битум с пенетрацией 100/130.

2. Модифицирующие аддитивы:

- АС-2 – продукт взаимодействия кубовых остатков нефтехимии КОН-92 (ТУ 38.302-75-03-92) с карбамидом в присутствии активирующей добавки – уксусной кислоты, что позволяет обеспечить количественное аминирование высших альдегидов и исключить применение газообразного аммиака [13]. (средневзвешенная молекулярная масса 236.5 а.е.м.).

- АГ-4И – отработанная герметизирующая жидкость, продукт на основе высокомолекулярного полиизобутилена и нефтяных масел (средневзвешенная молекулярная масса 5400 а.е.м.).

### 2.2 Приготовление модифицированных битумных композиций

Битум нагревали при постоянном перемешивании до 80°C, добиваясь подвижного состояния, после чего повышали температуру до 130°C для максимального приближения к реальным производственным условиям. Выдержав битумное вяжущее в термостатируемом режиме 30 минут при непрерывном перемешивании дозировали модификатор, варьируя его количественное содержание от 0.5 до 3.0 г/дм<sup>3</sup>. Бинарную композицию «битум-аддитив» перемешивали при данной температуре в течение 40 минут. Тройные композиции «битум-полимер-ПАВ» готовили путем последовательного введения модификаторов. Вначале, в расплавленный битум (t=130°C) вводили раствор герметизирующей жидкости (C=0.5-2.0 г/дм<sup>3</sup>) и, затем, перемешивали композицию в термостатируемом режиме 40 минут. По истечении указанного промежутка времени в бинарную систему «битум-АГ-4И» с фиксированным содержанием герметика дозировали ПАВ (C=0.5-2.0 г/дм<sup>3</sup>), выдерживая композицию при постоянном перемешивании и той же температуре, 40 минут для достижения равновесного состояния системы.

### 2.3 Определение поверхностного натяжения битумных композиций

Измерение  $\sigma_{ж-г}$  (t=130°C) осуществляли с методом висящей капли Easy Drop на автоматической установке серии АСАМ [14].

### 3. Результаты и обсуждение

#### 3.1. Поверхностно-активные свойства бинарных систем «битум-аддитив» на межфазных границах с воздухом

Представленные изотермы поверхностного натяжения ( $t=130^{\circ}\text{C}$ ), демонстрируют различную динамику изменения  $\sigma_{\text{ж-г}}$  при введении в битум АГ-4-И (рис.1, кривая 1) и АС-2 (рис.1, кривая 2). Данные различия связаны как с характеристиками модификаторов (состав, строение), то и со структурой самого битума. Многочисленные исследования битумов физико-химическими методами [15-17], а также методом атомной силовой микроскопии [18-19] позволили установить, что они представляют собой дисперсную систему в которой диспергированы микроассоциаты асфальто-смолистых веществ («пчелоподобные» агрегаты частиц различных размеров) отделенные друг от друга прослойкой масла.

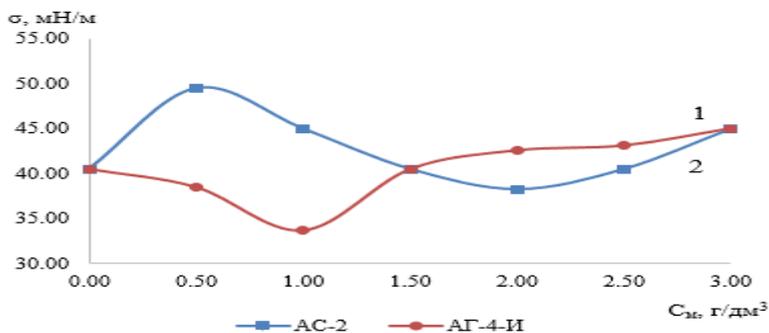


Рисунок 1 – Изотермы ( $t=130^{\circ}\text{C}$ ) поверхностного натяжения в системе «битум-аддитив»: 1-АГ-4-И, 2-АС-2

Судя по изотерме поверхностного натяжения (рис.1, кривая 1), введение в битум АГ-4-И (раствор полиизобутилена в нефтяном масле) масляная прослойка расширяется, что вызывает перестройку микроассоциатов с высвобождением входящих в их состав ПАВ. Наличие несвязанных дифильных молекул стимулировало их концентрирование в поверхностном слое, что подтверждается уменьшением  $\sigma_{\text{ж-г}}$  от 40.50 до 33.75 мН/м при увеличении концентрации АГ-4-И от 0 до 1.0 г/дм³ (нисходящий участок изотермы). Однако, за порогом этого концентрационного участка ( $C_m > 1.0$  г/дм³) отмечали противоположную тенденцию – склонность к ассоциации. На это указывает непрерывное ухудшение поверхностных свойств (восходящий участок изотермы). Так, при  $C_m = 1.5$  г/дм³ поверхностное натяжение композиций битум-АГ-4-И оказалось таким же, как и у битума в отсутствие АГ-4-И ( $\sigma_{\text{ж-г}} = 40.50$  мН/м). Это свидетельствует о том, что на межфазной границе с воздухом делокализованных из составов битумов ПАВ больше нет. Дальнейшее добавление АГ-4-И в битум, ( $C_m > 1$  г/дм³) сдвигает поверхностное натяжение в область больших величин: значения  $\sigma_{\text{ж-г}}$  увечились от 40.50 до 45.00 мН/м при повышении концентрации герметизирующей жидкости от 1.5 до 3.0 г/дм³. Этот второй

восходящий участок в области повышенных содержаний модификаторов связан с более глубокой структуризацией битума под влиянием межмолекулярной сетки полиизобутилена, входящего в состав АГ-4-И.

Экстремальный характер изменения  $\sigma_{ж-г}$  был зафиксирован и в битумных композициях АС-2 (рис.1, кривая 2). Однако, амфифильная архитектура его молекул и иной молекулярно-массовый состав привносит ряд своих отличительных особенностей. Для АС-2 характерно меньшее снижение поверхностного натяжения, а также смещения минимума  $\sigma_{ж-г}$  в область более высоких концентраций аддитива.

Дозирование аддитива  $\leq 0.5$  г/дм<sup>3</sup> способствовало его концентрированию не на межфазной границе с воздухом, а в объеме дисперсионной среды битума, о чем свидетельствует повышение на 9.00 мН/м поверхностного натяжения ( $\sigma_{ж-г}=49.50$  мН/м при  $C_m=0.5$  г/дм<sup>3</sup>). При увеличении концентрации АС-2 от 0.5 г/дм<sup>3</sup> поверхностное натяжение, напротив, уменьшилось на ту же величину ( $\Delta\sigma_{ж-г}=9.00$  мН/м), т.е. практически вернулось в состояние немодифицированного битума ( $\sigma_{ж-г}=40.50$  мН/м). И только в диапазоне концентраций от 1.5 до 2.0 г/дм<sup>3</sup> АС-2 демонстрирует свою поверхность активность, достигая ее пика при  $C_m=2.0$  г/дм<sup>3</sup> ( $\sigma_{ж-г}=38.25$  мН/м), который сменяется повторным скачком значений  $\sigma_{ж-г}$  в сторону увеличения. При максимальном содержании АС-2 ( $C_m=3.0$  г/дм<sup>3</sup>) в битуме, удельная поверхностная энергия идентична с изоконцентрационной бинарной композицией «битум-АГ-4-И» ( $\sigma_{ж-г}=45.00$  мН/м).

Таким образом, из представленных данных следует, что изменения удельной поверхностной энергии с воздухом неразрывно связаны с обратимостью ассоциативно-диссоциативных превращений, происходящих в дисперсионной среде битума под воздействием вводимых аддитивов.

### 3.2 Поверхностно-активные свойства тройных систем «битум-полимер-ПАВ» на межфазной границе с воздухом.

Результаты экспериментальных исследований поверхностного натяжения ( $\sigma_{эксп}$ ) в композициях смешанного состава, включающих совместное присутствие АГ-4И и АС-2, представлены в таблице 1. Дополнительно, для сопоставительной оценки поверхностных свойств аддитивов в бинарных и тройных системах использовали сравнение показателей  $\sigma_{эксп}$  и  $\sigma_{расч}$ . Поверхностное натяжение ( $\sigma_{расч}$ ) рассчитывали, как аддитивную величину (1):

$$\sigma_{расч}=\sigma_0-(\Delta\sigma_{АГ-4И}+\Delta\sigma_{АС-2}), \quad (1)$$

где  $\Delta\sigma_{АГ-4И}$  и  $\Delta\sigma_{АС-2}$  являются изменением поверхностного натяжения в бинарной системе относительно немодифицированного битума.

Таблица 1 – Поверхностное натяжение тройных систем на границе с воздухом

С <sub>м</sub> , г/дм <sup>3</sup>		Δσ <sub>АС-2</sub> , мН/м	Δσ <sub>АГ-4И</sub> , мН/м	σ <sub>расч.</sub> , мН/м	σ <sub>эксп.</sub> , мН/м	Δ, мН/м
АС-2	АГ-4И					
0.5	0.5	-9.00	1.98	47.52	36.96	-10.56
1.0	0.5	-4.50	1.98	43.02	36.00	-7.02
1.5	0.5	0	1.98	38.52	36.96	-1.56
2.0	0.5	2.25	1.98	36.27	38.64	2.37
2.5	0.5	0	1.98	38.52	41.04	2.52
3.0	0.5	-4.50	1.98	43.02	42.00	-1.02
0.5	1.0	-9.00	6.75	42.75	32.40	-10.35
1.0	1.0	-4.50	6.75	38.25	31.20	-7.05
1.5	1.0	0	6.75	33.75	31.22	-2.55
2.0	1.0	2.25	6.75	31.50	33.12	1.62
2.5	1.0	0	6.75	33.75	34.08	0.33
3.0	1.0	-4.50	6.75	38.25	34.80	-3.45
0.5	1.5	-9.00	0	49.50	39.60	-9.90
1.0	1.5	-4.50	0	45.00	40.80	-4.20
1.5	1.5	0	0	40.50	41.28	0.78
2.0	1.5	2.25	0	38.25	41.52	3.27
2.5	1.5	0	0	40.50	41.76	1.26
3.0	1.5	-4.50	0	45.00	42.00	-3.00
0.5	2.0	-9.00	-2.07	51.57	41.52	-10.05
1.0	2.0	-4.50	-2.07	47.07	40.80	-6.27
1.5	2.0	0	-2.07	42.57	41.52	-1.05
2.0	2.0	2.25	-2.07	40.32	42.00	1.68
2.5	2.0	0	-2.07	42.57	42.48	-0.09
3.0	2.0	-4.50	-2.07	47.07	43.20	-3.87
0.5	2.5	-9.00	-2.61	52.11	42.72	-9.39
1.0	2.5	-4.50	-2.61	47.61	42.00	-5.61
1.5	2.5	0	-2.61	43.11	42.00	-1.11
2.0	2.5	2.25	-2.61	40.86	42.72	1.86
2.5	2.5	0	-2.61	43.11	43.20	0.09
3.0	2.5	-4.50	-2.61	47.61	43.68	-3.93
0.5	3.0	-9.00	-4.50	54.00	44.40	-9.60
1.0	3.0	-4.50	-4.50	49.50	43.92	-5.58
1.5	3.0	0	-4.50	45.00	43.20	-1.80
2.0	3.0	2.25	-4.50	42.75	43.20	0.45
2.5	3.0	0	-4.50	45.00	44.40	-0.60
3.0	3.0	-4.50	-4.50	49.50	44.88	-4.62

Полученные данные (таблица 1) свидетельствуют об отклонениях экспериментальных значений поверхностного натяжения от расчетных. Это указывает на присутствие межмолекулярных взаимодействий и пространственных осложнений между компонентами композиций на межфазной границе «битум-воздух». Глубина отклонений между

экспериментальными и расчетными значениями  $\sigma_{ж-г}$  определяется концентрационными соотношениями аддитивов. Так, минимальные отклонения фиксировали при  $C_{AC-2}=2.5$  г/дм<sup>3</sup> и  $C_{AG-4И}=2.5$  г/дм<sup>3</sup> ( $\Delta\sigma_{min}=+0.09$  мН/м), а также при  $C_{AC-2}=2.5$  г/дм<sup>3</sup> и  $C_{AG-4И}=2.0$  г/дм<sup>3</sup> ( $\Delta\sigma_{min}=-0.09$  мН/м). Максимальные отклонения ( $\Delta\sigma_{max}=-10.56$  мН/м) наблюдались при минимальном содержании аддитивов в битуме ( $C_{AC-2}=0.5$  г/дм<sup>3</sup>,  $C_{AG-4И}=0.5$  г/дм<sup>3</sup>).

Следует так же отметить, что концентрационный порог аддитивов для достижений минимума  $\sigma_{ж-г}$  меняется в сравнении с индивидуальными композициями. Максимальное снижение поверхностного натяжения ( $\Delta\sigma=9.30$  мН/м), в сравнении с немодифицированным битумом, происходило при содержании в вяжущем 1.0г/дм<sup>3</sup> АГ-4И и 1.0г/дм<sup>3</sup> АС-2, что превышает максимальную депрессию  $\Delta\sigma_{ж-г}$  в бинарных системах ( $\Delta\sigma_{AG-4И}=6.75$  мН/м;  $\Delta\sigma_{AC-2}=2.25$  мН/м).

#### 4. Заключение

1. В битумных системах с ограниченной концентрацией АГ-4И ( $C \leq 1.0$  г/дм<sup>3</sup>) эффект снижения поверхностной энергии на межфазной границе с воздухом достигается за счет концентрирования в поверхностном слое ПАВ, входящих в структуру самого битума. чему способствует развитие процессов деструктурирования, сопровождающиеся разрушением ассоциатов и высвобождением активных компонентов. Максимум снижения поверхностного натяжения ( $\Delta\sigma=6.75$  мН/м) бинарной композиции «битум-АГ-4И» фиксировали при содержании модификатора 1.0 г/дм<sup>3</sup>.

2. В сравнении с раствором полиизобутилена в минеральном масле АС-2 характеризуется меньшей поверхностной активностью в битуме; максимум снижения поверхностного натяжения ( $\Delta\sigma=2.25$  мН/м) в бинарных композициях «битум-АС-2» отмечали при концентрации аддитива 2.0 г/дм<sup>3</sup>.

3. В тройных системах «битум-АГ-4И-АС-2» изменение удельной поверхностной энергии на межфазной границе «жидкость-газ» не является аддитивной величиной, учитывающей отдельный вклад АГ-4И и АС-2. Концентрационный порог аддитивов для достижений минимума  $\sigma_{ж-г}$  изменяется в сравнении с бинарными композициями. При совместном введении АГ-4И ( $C=1.0$  г/дм<sup>3</sup>) и АС-2 ( $C=1.0$  г/дм<sup>3</sup>) поверхностное натяжение уменьшилось до значения 31.20 мН/м в сравнении с немодифицированным битумом ( $\Delta\sigma=9.30$  мН/м).

4. Установленные физико-химические закономерности поверхностной активности модификаторов на межфазной границе «битум-воздух» являются необходимыми предпосылками для разработки научно обоснованных подходов модифицирования битумного вяжущего в составе асфальтобетонных композиций.

**Финансирование:** Научно-исследовательская работа осуществлена в рамках ГФ АР19677707 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БИТУМ КОМПОЗИЦИЯЛАРЫНЫҢ БЕТТІК ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Дюрягина А.Н.\*, Дегерт А.И., Бызова Ю.С., Луценко А.А.,  
Ширина Т.В., Островной К.А.

«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Петропавл, Қазақстан

\*E-mail: [adyuryagina@inbox.ru](mailto:adyuryagina@inbox.ru)

**Түйіндемe.** *Кіріспе.* Жол жамылғыларының мерзімінен бұрын бұзылуының негізгі себептерінің бірі – жол битумдарының сапасының төмендігі. Битумды байланыстырғыштың сапасын арттырудың тиімді әдісі оны полимерлі немесе беттік белсенді аддитивтермен модификациялау. *Мақсаты* - бинарлы "битум-ББЗ". "битум-полимер" және үштік "битум-ББЗ-полимер" жүйелеріндегі модификаторлар концентрациясының беттік керілуге әсерін анықтау. Жұмыс *әдістемесі* битумдағы аддитивтердің сандық құрамына байланысты модификацияланған битум жүйелерінің беттік керілуін өлшеуді қамтыды. *Нәтижелер мен талқылау:* алынған деректерді талдаудан көрініп тұрғандай. АГ-4И полимерінің концентрациясы шектеулі битум жүйелерінде ( $C \leq 1 \text{ г/дм}^3$ ) ауамен фазааралық шекарада беттік энергияның төмендеуінің әсері битумның құрылымына кіретін беттік-белсенді заттардың беткі қабатында шоғырлану арқылы қол жеткізіледі. Беттік керілудің өзгеруінің экстремалды сипаты АС-2 битумдық композицияларында да тіркелді. АС-2 беттік керілудің төмендеуімен. Сондай-ақ минимумның аддитивтің жоғары концентрациясы аймағына ауысуымен сипатталады. *Қорытынды:* "битум-АГ-4И-АС-2" үштік жүйелерінде беттік керілудің минимумына жету үшін аддитивтердің шоғырлану шегі бинарлы композициялармен салыстырғанда өзгереді. АГ-4И ( $C=1\text{г/дм}^3$ ) және АС-2 ( $C=1\text{г/дм}^3$ ) бірлесіп енгізген кезде беттік керілу модификацияланбаған битуммен салыстырғанда 9.30 мН/м-ге азайды.

**Түйінді сөздер:** битумды модификациялау, полимер, беттік белсенді заттар, беттік керілу, беттік қасиеттер

<i>Дюрягина Антонина Николаевна</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, профессор</i>
<i>Дегерт Алена Ивановна</i>	<i>докторант</i>
<i>Бызова Юлия Сергеевна</i>	<i>Жаратылыстану ғылымдарының магистрі,</i>
<i>Луценко Аида Александровна</i>	<i>PhD, доцент</i>
<i>Ширина Татьяна Валерьевна</i>	<i>Педагогика ғылымдарының магистр</i>
<i>Островной Кирилл Александрович</i>	<i>Жаратылыстану ғылымдарының магистрі</i>

### Список литературы:

1. Тюкилина П.М., Гуреев А.А., Тыщенко В.А. Производство нефтяных дорожных вяжущих. Москва, Недра. **2021**, 501 с.
2. Гуреев.А. А. Нефтяные вяжущие материалы. Москва, Недра. **2018**, 239 с.
3. Jiang J., Ni F., Gu X., Yao L., Dong O. Evaluation of aggregate packing based on thickness distribution of asphalt binder, mastic and mortar within asphalt mixtures using multiscale methods. *Constr. Build. Mater.* **2019**, Vol. 222, 717-730. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.083>
4. Wu W., Jiang W., Yuan D., Lu R., Shan J., Xiao J., Ogbon A.W. A review of asphalt-filler interaction: Mechanisms, evaluation methods, and influencing factors. *Constr. Build. Mater.* **2021**, Vol. 299, 124279. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124279>
5. Kemalov A., Kemalov R., Abdrafikova I., Fakhretdinov P., Valiev D. Polyfunctional Modifiers for Bitumen and Bituminous Materials with High Performance. *Adv. Mater. Sci. Eng.* **2018**, Vol. 10, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2018/7913527>
6. Polacco G., Berlincioni S., Biondi D., Stastna J., Zanzotto L. Asphalt Modification with Different Polyethylene-Based Polymers. *Eur. Polym. J.* **2005**, Vol. 41, 2831-2844. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.05.034>

7. Zhu J., Birgisson B., Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *Eur. Polym. J.* **2014**, Vol. 54, 18-38. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.02.005>
8. Xing H., Liang Y., Liu G., Zhang Y., Liu X., Fu W. Organically treating montmorillonite with dual surfactants to modify bitumen. *Constr. Build. Mater.* **2020**, Vol. 264, 120705. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120705>
9. Yu Q., Liu J., Xia H. Analysis of influence of surfactant on the properties of diluted asphalt mixtures. *Case Stud. Constr. Mater.* **2022**, Vol.17, e01335. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01335>
10. Shi L., Chen Y., Gong X., Yu X. Synthesis and characterization of quaternary ammonium salt tertiary amide type sodium hydroxypropyl phosphate asphalt emulsifier. *Res. Chem. Intermediat.* **2019**, Vol. 45, 5183-5520. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11164-019-03907-z>
11. Polacco G., Filippi S., Merusi F., Stastna G. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: Asphalt/polymer interactions and principles of compatibility. *Adv. Colloid Interface Sci.* **2015**, Vol. 224, 72-112. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.07.010>
12. Дюрягина А.Н., Бызова Ю.С., Островной К.А., Тюканько В.Ю. Утилизация отработанной герметизирующей жидкости в составе асфальтобетонных покрытий. *Извест. ТПУ. Инж. георесурсов.* **2021**, 332(4), 80-86. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/4/3150>
13. Патент РК №10797 *Способ получения ингибитора кислотной коррозии металлов.* Болатбаев К.Н., Дюрягина А.Н., Нурушов А.К., Корытина О.Г. **2004**. <https://kzpatents.com/0-pp14466-sposob-polucheniya-ingibitora-kislotnoj-korrozii-metallov.html>
14. Dyuryagina A., Byzova Y., Ostrovnoy K., Demyanenko A., Lutsenko A., Shirina T. Increasing the Adhesion of Bitumen to the Surface of Mineral Fillers through Modification with a Recycled Polymer and Surfactant Obtained from Oil Refining Waste. *Polymers.* **2024**, 16, 714. <https://doi.org/10.3390/polym16050714>
15. Jimenez-Mateos J.M., Quintero L.C., Rial C. Characterization of petroleum bitumens and their fractions by thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry. *Fuel.* **1996**, Vol. 75, 1691-1700. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(96\)00169-X](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(96)00169-X)
16. Fakhher S., Ahdaya M., Elturki M., Imqam A. Critical review of asphaltene properties and factors impacting its stability in crude oil. *J.Pet. Explor. Prod. Tech.* **2020**, Vol.10, 1183-1200. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13202-019-00811-5>
17. Lesueur D. The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. *Adv. Colloid Interface Sci.* **2009**, Vol. 145, 42-82. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.08.011>
18. Kou C., Kang A., Zhang W. Methods to Prepare Polymer Modified Bitumen Samples for Morphological Observation. *Constr. Build. Mater.* **2015**, Vol. 81, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.081>
19. Dyuryagina A., Byzova Y., Ostrovnoy K., Demyanenko A., Tyukanko V., Lutsenko A. The Effect of the Microstructure and Viscosity of Modified Bitumen on the Strength of Asphalt Concrete. *Polymers.* **2024**, Vol. 16(10), 1370. <https://doi.org/10.3390/polym16101370>

## References

1. Tyukina P.M., Gureev A.A., Tyshchenko V.A. Production of petroleum road binders. Moscow, Nedra. **2021**, 501 p. (In Russ.).
2. Gureev A. A. Petroleum binders. Moscow, Nedra. 2018, 239 p. (In Russ.).
3. Jiang J., Ni F., Gu X., Yao L., Dong O. Evaluation of aggregate packing based on thickness distribution of asphalt binder, mastic and mortar within asphalt mixtures using multiscale methods. *Constr. Build. Mater.* **2019**, Vol. 222, 717-730. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.083>
4. Wu W., Jiang W., Yuan D., Lu R., Shan J., Xiao J., Ogbon A.W. A review of asphalt-filler interaction: Mechanisms, evaluation methods, and influencing factors. *Constr. Build. Mater.* **2021**, Vol. 299, 124279. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124279>
5. Kemalov A., Kemalov R., Abdrafikova I., Fakhretdinov P., Valiev D. Polyfunctional Modifiers for Bitumen and Bituminous Materials with High Performance. *Adv. Mater. Sci. Eng.* **2018**, Vol. 10, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2018/7913577>
6. Polacco G., Berlincioni S., Biondi D., Stastna J., Zanzotto L. Asphalt Modification with Different Polyethylene-Based Polymers. *Eur. Polym. J.* **2005**, Vol. 41, 2831-2844. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.05.034>

7. Zhu J., Birgisson B., Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *Eur. Polym. J.* **2014**, Vol. 54, 18-38. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.02.005>
  8. Xing H., Liang Y., Liu G., Zhang Y., Liu X., Fu W. Organically treating montmorillonite with dual surfactants to modify bitumen. *Constr. Build. Mater.* **2020**, Vol. 264, 120705. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120705>
  9. Yu Q., Liu J., Xia H. Analysis of influence of surfactant on the properties of diluted asphalt mixtures. *Case Stud. Constr. Mater.* **2022**, Vol.17, e01335. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01335>
  10. Shi L., Chen Y., Gong X., Yu X. Synthesis and characterization of quaternary ammonium salt tertiary amide type sodium hydroxypropyl phosphate asphalt emulsifier. *Res. Chem. Intermediat.* **2019**, Vol. 45, 5183-5520. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11164-019-03907-z>
  11. Polacco G., Filippi S., Merusi F., Stastna G. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: Asphalt/polymer interactions and principles of compatibility. *Adv. Colloid Interface Sci.* **2015**, Vol. 224, 72-112. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.07.010>
  12. Dyuryagina A.N., Byzova Yu.S., Ostrovnoy K.A., Tyukanko V.Yu. Utilization of spent sealing liquid as part of asphalt concrete coatings. *News. TPU. Geores.eng.* **2021**, 332(4), 80-86. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/4/3150> (In Russ.).
  13. Patent of the Republic of Kazakhstan No. 10797 Method for obtaining an inhibitor of acid corrosion of metals. Bolatbaev K.N., Dyuryagina A.N., Nurushov A.K., Korytina O.G. **2004**. <https://kzpatents.com/0-pp14466-sposob-polucheniya-ingibitora-kislotnoj-korrozii-metallov.html>
  14. Dyuryagina A., Byzova Y., Ostrovnoy K., Demyanenko A., Lutsenko A., Shirina T. Increasing the Adhesion of Bitumen to the Surface of Mineral Fillers through Modification with a Recycled Polymer and Surfactant Obtained from Oil Refining Waste. *Polymers.* **2024**, 16, 714. <https://doi.org/10.3390/polym16050714>
  15. Jimenez-Mateos J.M., Quintero L.C., Rial C. Characterization of petroleum bitumens and their fractions by thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry. *Fuel.* **1996**, Vol. 75, 1691-1700. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(96\)00169-X](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(96)00169-X)
  16. Fakher S., Ahdaya M., Elturki M., Imqam A. Critical review of asphaltene properties and factors impacting its stability in crude oil. *J.Pet. Explor. Prod. Tech.* **2020**, Vol.10, 1183-1200. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13202-019-00811-5>
  17. Lesueur D. The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. *Adv. Colloid Interface Sci.* **2009**, Vol. 145, 42-82. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.08.011>
  18. Kou C., Kang A., Zhang W. Methods to Prepare Polymer Modified Bitumen Samples for Morphological Observation. *Constr. Build. Mater.* **2015**, Vol. 81, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.081>
- Dyuryagina A., Byzova Y., Ostrovnoy K., Demyanenko A., Tyukanko V., Lutsenko A. The Effect of the Microstructure and Viscosity of Modified Bitumen on the Strength of Asphalt Concrete. *Polymers.* **2024**, Vol. 16(10), 1370. <https://doi.org/10.3390/polym16101370>