

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.16

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-194-206

Оригинальная статья /Original Paper

Наполненные битумные композиции в строительной индустрии

О.Н. Киндеев, М.А. Высоцкая, А.В. Курлыкина

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, Россия

Резюме. Цель. Свойства дорожного битума при взаимодействии с компонентами строительных композиций всегда трансформируются относительно своих оригинальных свойств. При работе с материалами, в основе которых лежат наполненные битумные композиции, не зависимо от области их применения, основной задачей является мониторинг динамики изменения характеристик и регулирование в требуемом направлении, а также сохранение таких свойств, как вязкость, гибкость и текучесть. Цель работы заключается в исследовании влияния модифицирующих добавок различной основы (наполнители, пластификаторы и воски) на свойства битумного вяжущего и оценки эффективности их вклада в формирование наполненных битумных композиций для строительной отрасли. **Метод.** Методологической основой работы является принцип структурообразования битумов. Экспериментальные исследования выполнялись с использованием стандартных и специальных методов. **Результат.** Как наполнитель в битумной композиции наилучшим образом себя зарекомендовала фибра стекловолоконная. Наиболее ярко выраженный положительный пластифицирующий эффект наблюдается от использования экстракта селективной очистки масел, который позволяет в широком диапазоне управлять гибкостью системы. Установлено, что пластификатор полиалкилбензол эффективно регулирует свойства композиции при отрицательных температурах, незначительно влияя на теплостойкость; синтетический воск Titan и полиэтиленовый воск Viscobit равномерно распределяются в объеме битумного вяжущего и обеспечивают стабилизацию свойств системы. **Вывод.** Изучены 3 группы добавок-наполнителей битумной матрицы. Установлено, что направленное регулирование свойств битумных систем возможно за счет рационального выбора типа добавки-наполнителя. Используя комплексные наполнения битумной матрицы при проектировании битумных композиций с возможностью регулирования и нормирования их свойств (показателей оптимизации) возможно получение экономических и эксплуатационных эффектов.

Ключевые слова: наполненные битумные композиции; модифицирующие добавки для битума, теплостойкость, гибкость

Для цитирования: О.Н. Киндеев, М.А. Высоцкая, А.В. Курлыкина. Наполненные битумные композиции в строительной индустрии. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(1):194-206. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-194-206.

Filled bituminous compositions in the construction industry

O.N. Kindeev, M.A. Vysotskaya, A.V. Kurlykina

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University,
46 Kostyukova St., Belgorod 308012, Russia

Abstract. Objective. The properties of road bitumen, when interacting with the components of building compositions, are always transformed relative to their original properties. Therefore, when working with materials based on filled bitumen compositions, regardless of their field of application, the main task is to monitor the dynamics of changes in characteristics and control in the required direction, as well as maintaining properties such as viscosity, flexibil-

ity and fluidity. The purpose of the work is to study the effect of modifying additives of various bases (fillers, plasticizers and waxes) on the properties of a bituminous binder and to evaluate the effectiveness of their contribution to the formation of filled bitumen compositions for the construction industry. **Method.** The methodological basis of the work is the principle of bitumen structure formation. Experimental studies were carried out using standard and special methods. **Result.** The results obtained showed that fiberglass fiber proved to be the best filler in the bitumen composition. In the study of plasticizers, it was revealed that the most pronounced positive plasticizing effect is observed from the use of an extract of selective oil purification, which allows you to control the flexibility of the system in a wide range. It has been established that the plasticizer polyalkylbenzene effectively regulates the properties of the composition at negative temperatures, slightly affecting the heat resistance. The results of the wax study show that Titan synthetic wax and Viscobit polyethylene wax are evenly distributed in the volume of the bituminous binder and provide stabilization of the system properties. **Conclusion.** In the process of performing the study, as well as analyzing the results obtained, 3 groups of bituminous matrix filler additives were studied. It has been established that the directed regulation of the properties of bitumen systems is possible due to the rational choice of the type of additive-filler. Thus, using complex fillings of the bitumen matrix when designing bitumen compositions with the possibility of regulating and normalizing their properties (optimization indicators), it is possible to obtain economic and operational effects.

Keywords: filled bituminous compositions; modifying additives for bitumen, resistance to effects of heat, limberness

For citation: O.H. Kindeev, M.A. Vysotskaya, A.V. Kurlykina. Filled bituminous compositions in the construction industry. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2023; 50(1): 194-206. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-194-206.

Введение. Битум в чистом виде или как композиция, наполненная дисперсным минеральным наполнителем (киры, асфальтиты, мальты и т.д.), в виду комплекса полезных свойств, широко использовался еще на заре становления человечества в разнообразных сферах жизни: при изготовлении посуды, изоляции деревянных элементов в строительстве, как связующий компонент при выполнении мозаик и т.д.

Развитие техносферы повысило значимость битума и его производных в жизни социума сегодня. Битум широко используется в дорожном и гражданском строительстве при производстве кровельных материалов и гидроизоляций; как электроизоляция в электро-технической промышленности; в отделке деревянных, кожаных и бумажных изделий, в изготовлении аккумуляторных мастик, изготовлении кабельной и лакокрасочной продукции, в прецизионном литье. Обширность сфер использования и специфика свойств битума (высокая термочувствительность, склонность к старению и т.д.) определили необходимость использования приемов его модифицирования [1-7] или наполнения [8-10].

В виду особенностей рецептурного состава изделий, битум практически всегда утрачивает свои оригинальные свойства, вступая во взаимодействие с другими компонентами. Так, например, в составе асфальтобетонных смесей битум, вступая во взаимодействие с дисперсной составляющей смеси – минеральным порошком, образует асфальтовязущее вещество (АВВ), которое кардинально отличается от битума и выполняет роль связующего компонента в асфальтобетоне. В случае использования битума в основных композиционных материалах (рубероид, толь, рулонная кровля, битумная черепица, битумно-полимерная стыковочная лента) для придания изделию необходимых эксплуатационных параметров битум армируют и модифицируют широкой линейкой добавок и наполнителей. Раскрытие потенциала битумных вяжущих как гидроизоляционных композиций: мастик, герметиков, и придание им необходимой технологичности возможно только при использовании приемов модифицирования полимерными и наполнении минеральными компонентами битумной матрицы, а также ее пластифицировании специальными пластификаторами. Таким образом, в битуме, выполняющем роль ключевого связую-

щего компонента практически в любой композиции на битумной основе, при первом же контакте с рецептурными компонентами композиции наблюдается трансформация его уникальных свойств, заложенных на стадии проектирования.

Так, например, результаты, полученные коллективом авторов [11] демонстрируют, что при наполнении битума золами уноса Назаровской ГРЭС и Омской ТЭЦ обе зола способствуют сильному возрастанию вязкости битума высококальциевая в 1,5–3,5 раза, низкокальциевая – в 2,5–8,5(!) раз. При этом во всем температурном диапазоне испытаний значение комплексного модуля G в 1,5–2,5 раза больше у мастики на ЗУ Омской ТЭЦ, чем у битумного композита на ЗУ Назаровской ГРЭС. Иллюстрацией вариации значимого изменения свойств строительных битумов посредством введения наполнителей (отходов керамзита, древесной пыли, отходов производства ЦСП, углеродного наноматериала «Таунит») является работа Ярцева В.П. с коллегами [12], в результате которой была выявлена возможность повышения долговечности и теплостойкости строительных битумов. В случае же рассмотрения классического состава щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) [13] наблюдается комплексное воздействие на битумную матрицу минерального порошка, содержание которого в композите может достигать 15 % и стабилизирующей добавки.

В настоящий момент нормативной литературой не учитывается и не регламентируется динамика изменения свойств битума при взаимодействии с минеральными материалами при формировании структуры композитов на его основе. Однако, на происходящие структурные изменения в системе битумо-минеральных смесей (БМС) указывают ряд исследователей [14–20], отмечая, что в наполненных битумных системах равновесное состояние смещается относительно базового битума, а в процессе структурирования посредством избирательной адсорбции компонентов битума в минеральный наполнитель наблюдается нарастание жесткости, а в ряде случаев и хрупкости системы.

Очевидно, что при работе с материалами, в основе которых лежат наполненные битумные композиции не зависимо от области их применения, основной задачей является расширение интервала пластичности системы за счет одновременного улучшения ее высоко и низкотемпературных свойств, при соблюдении технологических ограничений, таких как вязкость и текучесть.

Постановка задачи. В соответствии с вышеизложенным, целью исследования является анализ влияния различных по своей природе добавок на характеристики битума и оценка эффективности их вклада в формирование наполненных битумных композиций для строительной отрасли. Для этого к решению был намечен ряд задач: анализ литературы по тематике исследования для выявления наиболее значимых свойств параметров в БМС и видов наполнителей; выбор оптимизируемых параметров в зависимости от конкретной задачи (гибкость и теплостойкость БМС); исследование влияния концентрации наполнителей в битумной матрице на выбранный оптимизируемый параметр.

Методы исследования. Методологической основой работы является принцип структурообразования битумов. Экспериментальные исследования выполнялись с использованием стандартных и специальных методов: тестирование битумного образца на соответствие ГОСТ 33133, оценка удельной поверхности и гранулометрический состав наполнителей выполнялись при помощи ПСХ анализа и метода лазерной гранулометрии.

Также выполнялись исследования по оценке вяжущего и наполненных систем на гибкость на брус, стекание, для серии наполненных образцов определялась температура размягчения. Метод определения гибкости на брус традиционно применяется для оценки низкотемпературных свойств гидроизоляционных мастик и рулонных кровельных материалов, содержащих в своем составе значительное количество наполнителей. Гибкость БМС предлагается определять методом изгиба на брус диаметром 50 мм по ГОСТ 26589.

На наш взгляд, показатель «гибкость», характеризует устойчивость проектируемых композитов к разрушению при отрицательных температурах при воздействии изгибающих напряжений и напрямую связан с температурой наиболее холодной пятидневки региона

применения. Косвенно данный показатель может являться параметром оптимизации системы, позволяющий прогнозировать и исключить такой вид дефектов, как низкотемпературное растрескивание. Стеkanie наиболее точно и наглядно отражает поведение материала при высоких температурах.

Суть методики состоит в определении величины стекания образца вяжущего или БМС с наклонной плоскости при температуре 45°C. Обработка и анализ результатов экспериментальных исследований выполнялись на основе методов математической статистики. Построение графиков выполнялось в программе SigmaPlot.

Обсуждения результатов. В работе для приготовления наполненных битумных композиций использовался битум нефтяной дорожный БНД 70/100 «Московского» НПЗ, данные представлены в табл. 1; пластификаторы: масло индустриальное марки И-40, гудрон марки СБ 20/40, экстракт селективной очистки масел (ЭСО), полиалкилбензол (ПАБ); наполнители: микрокальцит, порошок резиновый, фибра полиамидная, фибра стекловолокнистая, целлюлозное волокно; синтетические воски (церезины): полиэтиленовый воск Viskobit, Titan амидный воск Licomont BS, алифатические углеводороды по типу синтеза Фишера-Тропша Sasobit.

Таблица 1. Показатели свойств БНД 70/100
Table 1. Properties indicators BND 70/100

Наименование показателя Name of indicator	Требование по ГОСТ 33133-2014 Requirement	Фактические значения Actual values
Основные показатели Basic indicators		
Глубина проникания иглы при 25°C 0,1, мм Depth of needle penetration	71-100	83
Температура размягчения по кольцу и шару, °C Softening temperature for ring and ball	не ниже 47	49
Растяжимость при 0°C, см Extensibility	не менее 3,7	3,6
Температура хрупкости, °C Brittleness temperature	не выше -18	-25
Изменение массы образца после старения, % Sample weight change after aging	не более 0,6	-0,15
Изменение температуры размягчения после старения, °C Change in softening point after aging	не более 7	6,4
Температура вспышки, °C Flash point	не ниже 230	295
Дополнительные показатели Additional indicators		
Динамическая вязкость, условие 1, Па*с Dynamic viscosity, condition	для набора статистических данных for a set of statistics	195,0
Изменение динамической вязкости, условие 2, % Change in dynamic viscosity		4,1
Динамическая вязкость, после старения, условие 1, Па*с Dynamic viscosity, after aging, condition 1,		458,5
Изменение динамической вязкости после старения после сдвигового воздействия, Условие 2, % Change in dynamic viscosity after aging after shear exposure		30,8
Растяжимость при 25 °C, см Extensibility	не менее 62	120
Глубина проникания иглы при 0 °C, 0,1 мм Depth of needle penetration	не менее 21	26
Температура хрупкости после старения, °C Brittleness temperature after aging	не выше -15	-22
Индекс пенетрации Penetration index	-1,0 ... +1,0	-0,2

Показатели свойств сырьевых компонентов представлены в табл. 2-4.

Таблица 2. Свойства наполнителей
Table 2. Filler properties

Наполнитель Filler	Размер частиц, мкм	Размер нити	
		диаметр, мкм	длина, мм
микрокальцит microcalcite	34 max 120	-	-
порошок резиновый rubber powder	400	-	-
фибра полиамидная polyamide fiber	-	12	6,4
фибра стекловолоконная glass fiber	-	13	4,2
целлюлозное волокно cellulose fiber	-	15	2,7

Таблица 3. Характеристики пластификаторов
Table 3. Characteristics of plasticizers

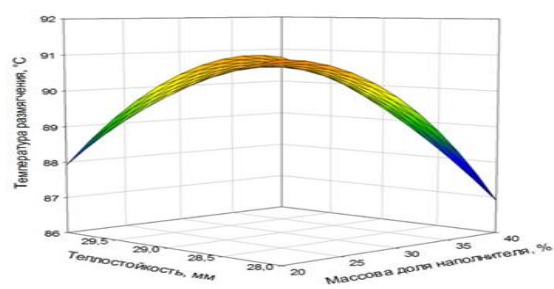
Наименование пластификатора Name plasticizer	Вязкость кинематическая при 100 °С мм ² /с Viscosity kinematic	Температура вспышки, в открытом тигле, С ⁰ Flash point, open cup	Условная вязкость, мм ² /с Nominal viscosity	Плотность при 20 °С, кг/м ³ Density
масло промышленное марки И-40 industrial oil brand	4,8	235	3,9	888,8
экстракт селективной очистки масел (ЭСО) selective oil extract	13,53	225	3,8	978,1
полиалкилбензол (ПАБ) polyalkylbenzene	12,7	147	2,7	925
гудрон марки СБ 20/40 tar brand	31,6	241	4,4	-

Приготовление лабораторных образцов наполненных битумных композиций выполнялось посредством лабораторной мешалки при температуре 150 °С. Перемешивание волокнистых наполнителей осуществлялось вручную.

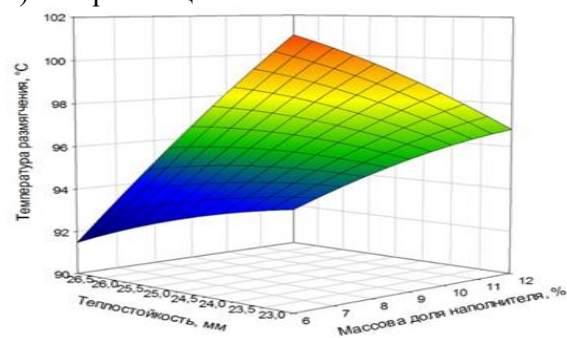
В процессе изучения битумных композиций с наполнителем из микрокальцита, резинового порошка, различной фибры и целлюлозного волокна было установлено, что ввиду их высокой структурирующей способности, данная группа склонна оказывать весьма негативное влияние на гибкость системы. Однако, формирование жестких связей в структуре композиций обуславливает их высокую теплостойкость. Анализ данных, полученных в процессе постановки эксперимента и наблюдения приготовленных систем засвидетельствовал, что данную группу наполнителей целесообразно тестировать на теплостойкость и температуру размягчения.

Для каждого наполнителя в виду особенностей геометрической формы его частиц, дисперсности и стоимости был определен интервал наполнения битумной матрицы. Так, содержание микрокальцита в композиции колебалось от 20 до 40%, резинового порошка – 6-12%, полиамидной фибры и целлюлозного волокна – 4-8%, стекловолоконной фибры 1-2%. Динамика изменения показателей свойств наполненных композиций от степени наполнения представлена на рис.1.

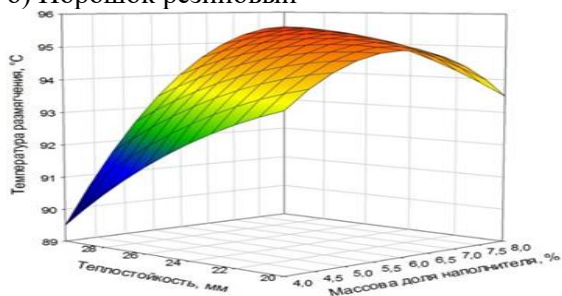
Иллюстрационный материал демонстрирует, что совокупность максимальных показателей (теплостойкости и температуры размягчения) достигается при наполнении битумной матрицы микрокальцитом в количестве 30%; полиамидной фиброй и микроцеллюлозой при введении 7,5%; резинового порошка необходимо 12%, минимальное содержание наполнителя в системе необходимо при использовании стекловолоконной фибры. Однако целью работы является не только выявление концентрационных пределов компонентов, изменяющих рассматриваемые показатели свойств, но и сами получаемые величины. Для удобства анализа полученных данных, обратимся к табл. 4.



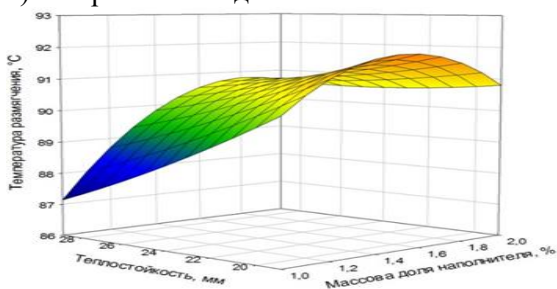
а) Микрокальцит



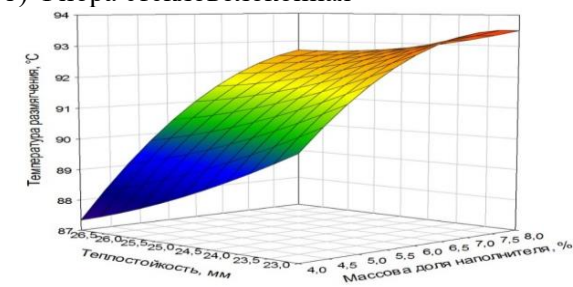
б) Порошок резиновый



в) Фибра полиамидная



г) Фибра стекловолоконная



д) Целлюлозное волокно

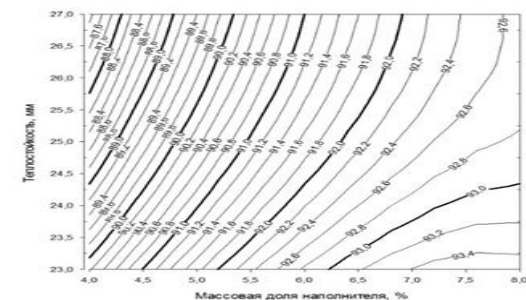
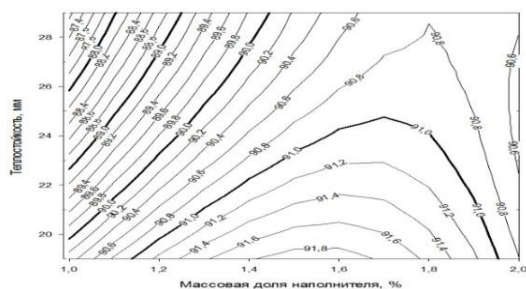
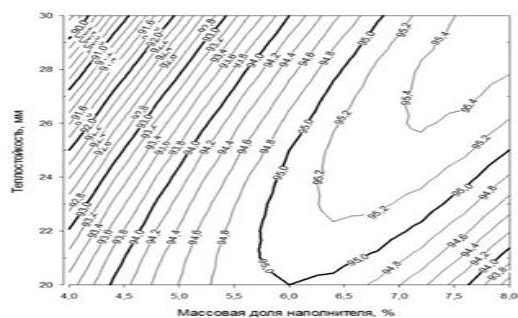
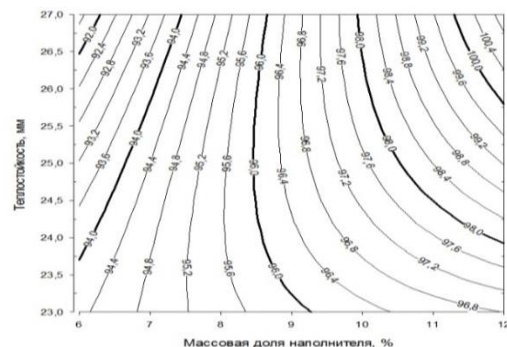
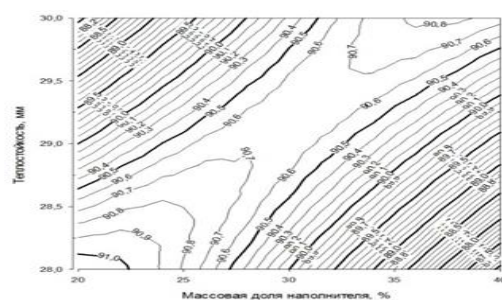


Рис. 1. Свойства битумной композиции с наполнителями
Fig. 1. Properties of bituminous composition with fillers

Таблица 4. Влияние вида наполнителя на концентрационные пределы его содержания в композиции для достижение совокупности максимальных показателей (теплостойкости и температуры размягчения)

Table 4. Influence of the type of filler on the concentration limits of its content in the composition to achieve a set of maximum indicators (heat resistance and softening point)

Вид наполнителя Type of filler	Содержание наполнителя в композиции, % The content of the filler in the composition	Показатели оптимизации Optimization metrics	
		температура размягчения, °C softening temperature	теплостойкость, мм heat resistance
микрокальцит microcalcite	30	90,7	29,5
порошок резиновый rubber powder	12	100,4	27,0
фибра полиамидная polyamide fiber	7,5	95,4	28
фибра стекловолоконная glass fiber fiber	1,5	91,8	28
целлюлозное волокно cellulose fiber	7,5	93,4	23,3

Анализ первой группы наполнителей свидетельствует, что, учитывая концентрационные пределы их содержания и достигаемые результаты показателей свойств, наиболее ярко выраженный положительный эффект наблюдается от использования фибры стекловолоконной.

С учетом накопленной экспериментальной базы также можно отметить, что волокнистый наполнитель из стеклофибры, хорошо смачивается расплавом пластифицированного полимера и удерживается во взвешенном состоянии, равномерно по всему объему вяжущего, обеспечивая в эксплуатационном диапазоне температур повышение вязкости системы, сопровождающееся улучшением теплостойкости.

Совокупность отмеченных характеристик является целесообразной для изготовления основных и безосновных рулонных битумосодержащих материалов (стыковочных лент), а также штучных кровельных изделий на основе битума.

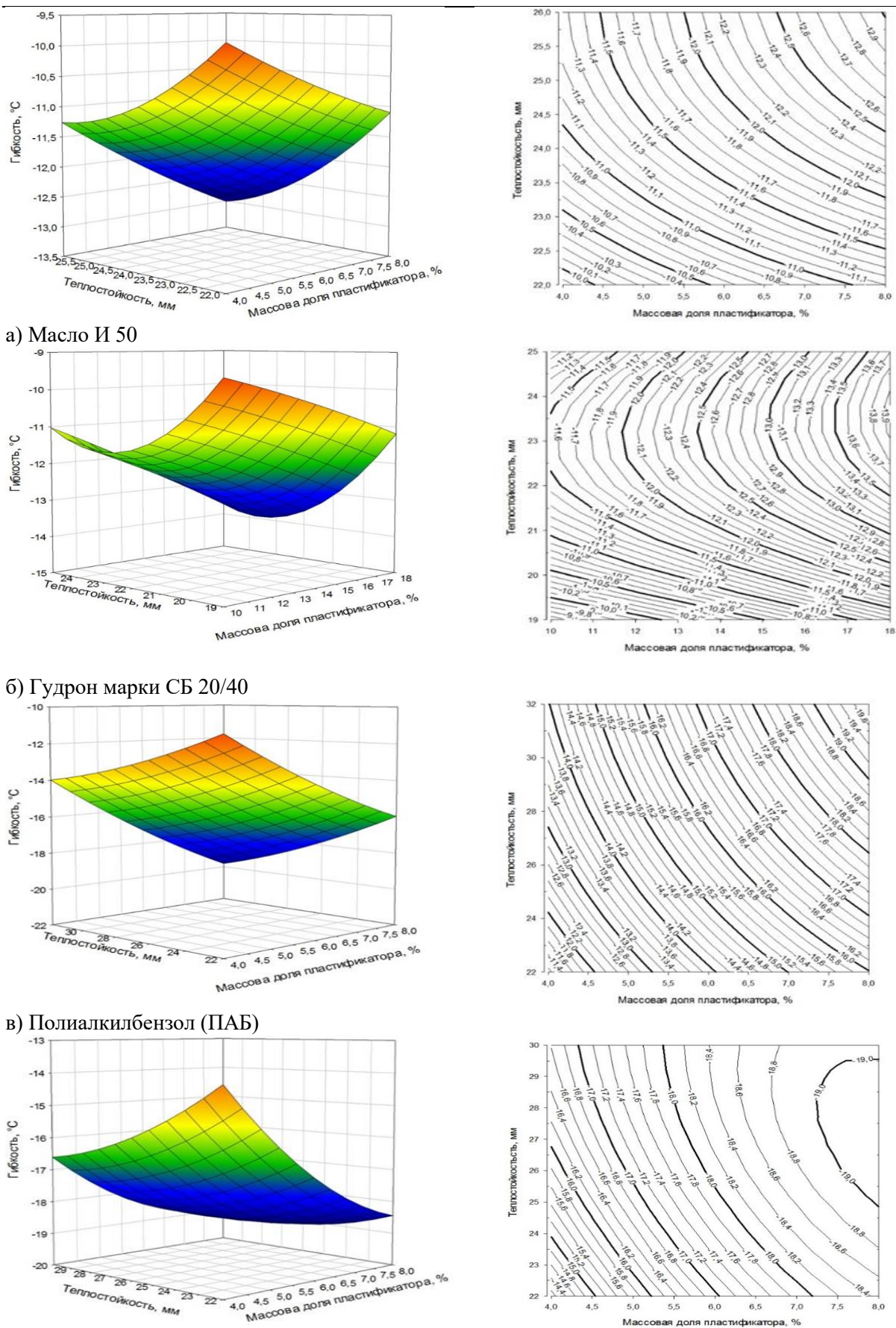
Справедливости ради стоит отметить, что при изучении гибкости на брус, образцы, наполненные стеклофibrрой, показали наиболее интересные результаты: образующиеся трещинки, ввиду армирования, после нахождения образца в покое затягивались.

Использование микрокальцита для наполнения битумной матрицы целесообразно при необходимости замещения объема битума дешевой и эффективной составляющей, например, при изготовлении безосновных рулонных битумосодержащих материалов, мастик, пропиточных составов.

В качестве промежуточного вывода можно отметить, что для достижения структурирования битумной матрицы в диапазоне высоких температур целесообразно использовать вариации наполнителей и их концентрационные содержания в композициях с учетом области применения и стоящих перед исследователем задач.

Следующей группой веществ, объединяемых с битумом были пластифицирующие компоненты, использование которых целесообразно для регулирования низкотемпературных свойств битумосодержащих композиций и материалов: основных и безосновных рулонных битумосодержащих материалов, штучных кровельных изделий на основе битума, мастик, полимерно-битумных вяжущих (ПБВ), резинобитумных вяжущих (РБВ) и т.д. В случае наполнения битума пластифицирующими компонентами, процесс будет называться пластификацией. При постановке эксперимента масло И-50, ПАБ и ЭСО вводились в битумную матрицу в количестве 4-8% с шагом ввода 0,5%. Гудрон, ввиду его относительно высокой вязкости, объединялся с битумом в количестве 10-18% с шагом дозировки 1%. Полученные данные представлены на рис.2.

Для удобства анализа полученных результатов была произведена выборка данных, представленная в табл. 5.



Г) ЭСО

Рис. 2. Свойства битумной композиции с пластификаторами
Fig. 2. Properties of bitumen composition with plasticizers

Таблица 5. Влияние вида пластификатора на концентрационные пределы его содержания в композиции для достижение совокупности максимальных показателей (теплостойкости и гибкости на брусе)

Table 5. Influence of the type of plasticizer on the concentration limits of its content in the composition to achieve a set of maximum indicators (heat resistance and flexibility on the beam)

Вид наполнителя Type of filler	Содержание наполнителя в композиции, % The content of the filler in the composition	Показатели оптимизации Optimization metrics	
		гибкость на брусе, °C flexibility on the bar	теплостойкость, мм heat resistance
масло промышленное марки И-40 industrial oil brand I-40	8,0	-13,0	22,0
экстракт селективной очистки масел (ЭСО) selective oil extract (ESP)	7,5-8	-19,0	29,0
полиалкилбензол (ПАБ) polyalkylbenzene (PAB)	8,0	-19,6	22,0
гудрон марки СБ 20/40 tar brand	18,0	-13,9	19,0

В соответствии с полученными результатами, наиболее перспективным пластифицирующим компонентом, позволяющим в широком диапазоне управлять как гибкостью системы при отрицательных температурах, так и теплостойкостью является ЭСО. Однако, в случае необходимости отрегулировать только низкотемпературные характеристики наполненных битумных систем эффективно с этой задачей справляется ПАБ. Более того, выполненный ряд исследований по изучению влияния ПАБ на битумные композиции позволяет утверждать, что такие системы отличаются повышенными адгезионными и когезионными показателями.

Более выраженный низкотемпературный эффект от использования ПАБ проявляется при совместном наполнении битумной матрицы пластификатором и полимерным компонентом. В этом случае в рассматриваемой системе полиалкилбензол (ПАБ), проникая в структуру полимера, вызывает его набухание в короткие сроки, способствуя облегчению процесса диспергирования в битуме. При этом повышается гибкость макромолекул полимера, а также облегчается скольжение структурных элементов полимерной сетки относительно друг друга, за счет чего улучшаются низкотемпературные свойства всей композиции, в том числе при наполнении ее дисперсными минеральными материалами. Подобные эффекты могут быть использованы в технологии приготовления ПБВ для асфальтобетонных смесей, мастик, герметиков и т.д. Рассмотрим еще одну группу добавок в битум – твердые воски. В виду специфики их действия воски называют процессинговой добавкой, так как они могут быть использованы для понижения высокой вязкости полимеров, смол и битумных систем. Для регулировки и оптимизации реологических характеристик многокомпонентных композиций на их основе, а также для облегчения смешения масс в процессе приготовления. В дорожно-строительной отрасли воски нашли применение как структурный модификатор битума в производстве асфальтобетона, а также кровельных материалов и гидроизоляции. Учитывая, что твердые воски способны увеличивать термостойкость, снижать температурные диапазоны работы с композициями и отрицательное влияние низких температур на системы, а также формировать сетчатую структуру во время охлаждения.

В рамках исследования представляло интерес изучение влияния концентрации восков на теплостойкость и гибкость битумной матрицы. Для этого битумные композиции, наполненные восками Viskobit, Titan, Licomont BS, Sasobit в диапазоне дозировки 1,0 – 2,0% с шагом в 0,2% испытывали на показатели теплостойкости и гибкости на брусе. Полученные результаты представлены на рис.3.

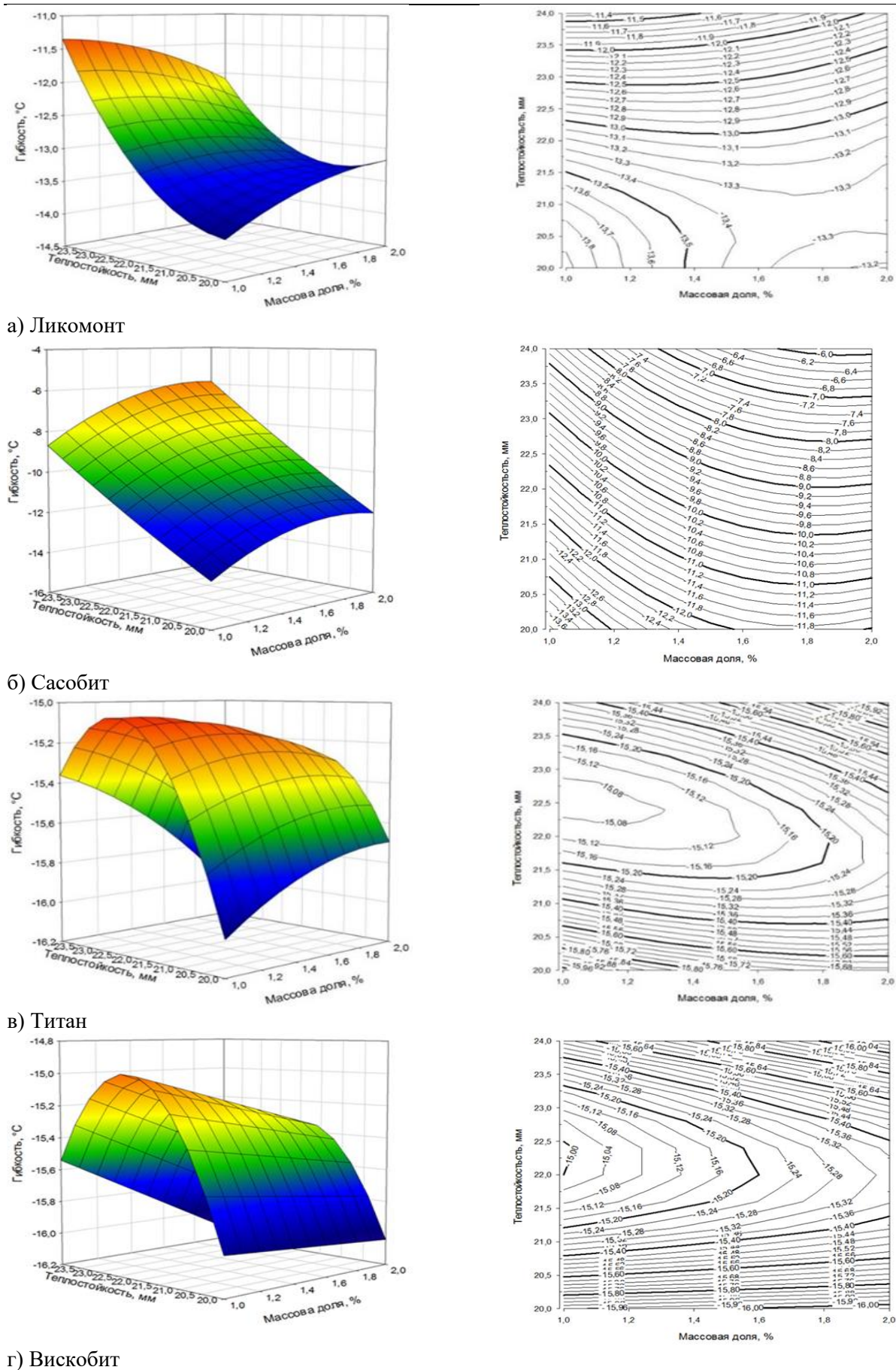


Рис. 3. Свойства битумной композиции с восками
Fig. 3. Properties of bituminous composition with waxes

Для удобства выполнения сравнительного анализа рассмотрим табл. 6

Таблица 6. Влияние вида воска на концентрационные пределы его содержания в композиции для достижение совокупности максимальных показателей (теплостойкости и гибкости на брусce)

Table 6. Influence of the type of wax on the concentration limits of its content in the composition to achieve a set of maximum indicators (heat resistance and flexibility on the beam)

Вид наполнителя Type of filler	Содержание наполнителя в композиции, % The content of the filler in the composition	Показатели оптимизации Optimization metrics	
		гибкость на брусce, °C flexibility on the bar	теплостойкость, мм heat resistance
Viskobit	1,2	-15,9	20
Titan	1,0	-16,0	20
Licomont BS	1,0	-13,9	20
Sasobit	1,0	-13,7	20

Как видно, концентрации воска в битуме, для достижения максимальных значений совокупности свойств наполненной битумной системы, одинаковы и составляют 1%. Дальнейшее увеличение содержания воска в битумной матрице является не целесообразным в виду отсутствия ярко выраженного эффекта по гибкости и существенного удорожания получаемой композиции. Полученные результаты демонстрируют, что наилучшим образом себя зарекомендовали синтетический воск Titan и полиэтиленовый воск Viskobit. Эти структурирующие добавки плавятся при температуре 90-95°C и равномерно распределяются в объеме битумного вяжущего, практически не изменяя его вязкость. В эксплуатационном диапазоне температур от 5 до 45°C молекулы воска находятся в кристаллическом состоянии, обеспечивая структурообразование, что в свою очередь способствует стабилизации свойств системы.

Вывод. В процессе постановки задачи и выполнения исследования, а также анализа полученных результатов было изучены 3 группы добавок-наполнителей битумной матрицы. В соответствии с полученными результатами наиболее перспективными пластифицирующими компонентами являются ЭСО и ПАБ, сохраняющие гибкость композиции при -19°C при концентрации 8% от массы битума.

Было установлено, что в битумных системах улучшения низкотемпературных свойств, то есть снижения температуры гибкости, можно добиться за счет пластификации битумной матрицы, а высокотемпературных, то есть температуры размягчения и теплостойкости – за счет ее структурирования.

Управление высокотемпературными характеристиками и теплостойкостью битумных композиций эффективно осуществлять за счет надмолекулярной модификации, которая может быть реализована по механизму дисперсного армирования системы микронаполнителем или фиброй.

Совокупность максимальных показателей (теплостойкости и температуры размягчения) была достигнута при наполнении битумной матрицы микрокальцитом в количестве 30%; полиамидной фиброй и микроцеллюлозой при введении 7,5%; резинового порошка необходимо 12%, минимальное содержание наполнителя в системе необходимо при использовании стекловолоконной фибры 1,5 %.

Очевидно, что регулировать теплостойкость системы путем введения в битум воска – технически и экономически нецелесообразно. Использование этого компонента оправдано как технологической добавки в совокупности с набором прочих добавок для облегчения перемешивания и регулирования технологических температур работы с композициями.

Таким образом, используя комплексные наполнения битумной матрицы при проектировании битумных композиций с возможностью регулирования и нормирования их свойств (показателей оптимизации) возможно получение экономических и эксплуатационных эффектов.

Библиографический список:

1. Мусостов Ш.И., Сангариева Э.Н., Апаева М.Х. Модификация битумов полимерами // Вестник магистратуры. 2021. №4-1 (115). С. 29-34.
2. Евдокимова Н.Г., Лунева Н.Н. О направлениях использования добавок различной природы для модифицирования свойств битумов // Баш. хим. ж.. 2016. № 4. С. 49-62.
3. Христофорова А.А., Филиппов С.Э., Соколова М.Д. Применение новых модифицирующих добавок в материалах дорожно-строительного назначения // Инновации в науке. 2012. № 14-1. С. 122-127.
4. Loise, V., Caputo, P., Porto, M., Calandra, P., Angelico, R., Oliviero Rossi, C. A review on Bitumen Rejuvenation: Mechanisms, materials, methods and perspectives // Applied Sciences. 2019. № 9(20). 4316.
5. Joohari, I. B., Giustozzi, F. Chemical and high-temperature rheological properties of recycled plastics-polymer modified hybrid bitumen // Journal of Cleaner Production. 2020. 276. 123064.
6. Белова Н.А., Кортювенко Л.П., Страхова Н.А. Добавки в битумы // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2018. №3. С. 175-184
7. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Техничко-экономическая эффективность применения наномодифицированного наполнителя для асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2018. №4 (115). С. 536-443.
8. Поляков И.В., Баранников М.В., Поляков В.С. Использование полимерсодержащих отходов производства термопластов для модификации нефтяных битумов // Производство и использование эластомеров. 2020. №2. С. 28-33.
9. Вязенков А. А., Арзамасцев С. В. Базальтонаполненная полимербитумная мастика // Вестник СГТУ. 2013. №1 (72). С. 59-62.
10. Porto, M., Caputo, P., Loise, V., Eskandarsefat, S., Teltayev, B., & Oliviero Rossi, C. Bitumen and bitumen modification: A review on latest advances // Applied Sciences. 2019. 9(4). 742.
11. Лебедев М.С. Чулкова исследование реологических свойств битумных композиций, наполненных золами-уноса различного состава / Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 11. С. 47-52.
12. Ярцев В.П., Долженкова М.В., Петрова Н.В. Влияние наполнителей и нанодобавок на эксплуатационные свойства композитов на основе битума / Вестник ТГТУ. 2014. Том 20. № 4. С. 801-809.
13. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия. Введ. 01.05.2003. – М.:Из-во Стандартов, 2003. 27 с.
14. Гридчин А.М., Ядыкина В.В. Особенности взаимодействия битума с минеральными материалами из кислых пород // Вестник ХНАДУ. 2008. №40. С. 13-16.
15. Тюрюханов К.Ю., Пугин К.Г. Исследование взаимодействия битума с минеральными частицами в асфальтобетоне // Транспортные сооружения. 2018. Т. 5. № 1. С. 19.
16. Ширяев А.О., Высоцкая М.А. Минеральный порошок в современной системе проектирования асфальтобетонных систем // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2022. №2. С. 8-19.
17. Ярмолинская Н.И. Дорожный асфальтобетон с применением минеральных порошков из техногенных отходов промышленности: учеб.пособие. 2-е изд., перераб. и доп. - Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2007. 337 с.
18. Gao Y., Zhang Y., Gu F., Xu T., Wang H. Impact of minerals and water on bitumen-mineral adhesion and debonding behaviours using molecular dynamics simulations // Construction and Building Materials. 2018. № 171. Pp. 214-222.
19. Chen J.S., Kuo P.H., Lin P.S., Huang C.C., Lin K.Y. Experimental and theoretical characterization of the engineering behavior of bitumen mixed with mineral filler // Materials and Structures. 2008. № 41(6). Pp. 1015-1024.
20. Marochio P.A.X.L.P., van de Ven M., Skarpas S.E.T. Evaluation of epoxy modification in asphalt mastic // Materials and Structures. 2020. 53. 120.

References:

1. Musostov Sh.I., Sangarieva E.N., Apaeva M.Kh. "Modification of bitumen by polymers". *Bulletin of the Magistracy* 4-1.115 (2021): 29-34. (In Russ)
2. Evdokimova N.G., Luneva N.N. "On the directions of using additives of various nature to modify the properties of bitumen". *Bash. chem. Zh.* 4 (2016): 49-62. (In Russ)
3. Khristoforova A.A., Filippov S.E., Sokolova M.D. The use of new modifying additives in road construction materials. *Innovations in Science* 14-1 (2012): 122-127. (In Russ)
4. Loise, Valeria, et al. "A review on Bitumen Rejuvenation: Mechanisms, materials, methods and perspectives". *Applied Sciences* 9.20 (2019): 4316.
5. Joohari, I. B., Giustozzi, F. "Chemical and high-temperature rheological properties of recycled plastics-polymer modified hybrid bitumen". *Journal of Cleaner Production* 276 (2020): 123064.
6. Belova N.A., Kortovenko L.P., Strakhova N.A. Bitumen additives. *Bulletin of the DSTU. Technical science* 3 (2018): 175-184. (In Russ)
7. Inozemtsev S.S., Korolev E.V. "Technical and economic efficiency of the use of nanomodified filler for asphalt concrete". *Bulletin of MGSU* 4.115 (2018): 536-443. (In Russ)

8. Polyakov I.V., Barannikov M.V., Polyakov V.S. "The use of polymer-containing wastes from the production of thermoplastics for the modification of petroleum bitumen". *Production and use of elastomers* 2 (2020): 28-33. (In Russ)
9. Vyazenzov A. A., Arzamastsev S. V. "Basalt-filled polymer-bitumen mastic". *Vestnik SGTU* 1.72 (2013): 59-62. (In Russ)
10. Porto, Michele, et al. "Bitumen and bitumen modification: A review on latest advances". *Applied Sciences* 9.4 (2019): 742.
11. Lebedev M.S. "Chulkova study of the rheological properties of bituminous compositions filled with fly ash of various compositions". *Vestnik BSTU im. V.G. Shukhov* 11 (2016): 47-52. (In Russ)
12. Yartsev V.P., Dolzhenkova M.V., Petrova N.V. "Influence of fillers and nanoadditives on the performance properties of bitumen-based composites". *Vestnik TSTU* 20.4 (2014): 801-809. (In Russ)
13. GOST 31015-2002. Asphalt-concrete mixtures and crushed stone-mastic asphalt concrete. Technical conditions. Introduction May 1, 2003. - M.: Standards Publishing House, 2003. 27 p.
14. Gridchin A.M., Yadykina V.V. "Features of the interaction of bitumen with mineral materials from acidic rocks". *Bulletin of KhNADU* 40 (2008): 13-16. (In Russ)
15. Tyuryukhanov K.Yu., Pugin K.G. "Study of the interaction of bitumen with mineral particles in asphalt concrete". *Transport facilities* 5.1 (2018): 19-23. (In Russ)
16. Shiryaev A.O., Vysotskaya M.A. "Mineral powder in the modern system of designing asphalt concrete systems". *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov* 2 (2022): 8-19. (In Russ)
17. Yarmolinskaya N.I. Road asphalt concrete with the use of mineral powders from technogenic industrial waste: textbook. 2nd ed., revised. and additional - Khabarovsk: Pacific Publishing House. state un-ta (2007): 337 p. (In Russ)
18. Gao, Yangming, et al. "Impact of minerals and water on bitumen-mineral adhesion and debonding behaviours using molecular dynamics simulations." *Construction and Building Materials* 171 (2018): 214-222.
19. Chen, Jian-Shiuh, et al. "Experimental and theoretical characterization of the engineering behavior of bitumen mixed with mineral filler." *Materials and Structures* 41.6 (2008): 1015-1024.
20. Apostolidis, Panos, et al. "Evaluation of epoxy modification in asphalt mastic." *Materials and Structures* 53.5 (2020): 1-15.

Сведения об авторах:

Киндеев Олег Николаевич, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог; kindeev.o@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-0518-4967

Высоцкая Марина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог; ro-ruri@rambler.ru; ORCID: 0000-0003-4572-7839

Анастасия Владимировна Курлыкина, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог; anastasiyakurlikina@yandex.ru; ORCID:0000-0003-3265-5856

Information about the authors:

Oleg N. Kindeev, Post-graduate Student, Department of Automobile and Railways; kindeev.o@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-0518-4967

Marina A. Vysotskaya, Cand. Sci. (Eng), Assoc.Prof., Department of Automobile and Railways; ro-ruri@rambler.ru; ORCID: 0000-0003-4572-7839

Anastasia V. Kurlykina, Post-graduate Student, Department of Automobile and Railways; anastasiyakurlikina@yandex.ru; ORCID:0000-0003-3265-5856

Конфликт интересов/ Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 13.01.2023.

Одобрена после/рецензирования Revised 16.02.2023.

Принята в печать/ Accepted for publication 16.02.2023.