

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-19-34

**\*Высоцкая М.А., Киндеев О.Н., Курлыкина А.В., Кабалин М.Д.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

\*E-mail: roruri@rambler.ru

## ДОБАВКА НА ОСНОВЕ ОРГАНОГЛИН – КАК ИНСТРУМЕНТ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИТУМА

**Аннотация.** Битум представляет собой сложную, многокомпонентную коллоидную дисперсную систему, в основе которой лежит взаимодействие асфальтенов (фазы) и мальтенов (среды). При отсутствии внешнего воздействия такая система находится в относительно стабильном состоянии. Любое внешнее воздействие сдвигает равновесное состояние коллоида и инициирует агрегацию золь, сопровождающимся качественным изменением свойств. Таким образом, количественное изменение фазы коллоида влечёт качественное изменение его состояния. Одним из перспективных способов управления структурообразованием и показателями битума является применение реологических добавок. В работе представлены результаты по модифицированию дорожного битума добавкой «Viscogel» в концентрационном диапазоне 1–5 %. Определено влияние добавки на реологические характеристики битума. Установлено оптимальное количество добавки, положительно влияющее на свойства битума. Полученные данные подтверждаются результатами по определению краевого угла смачивания образцов битума с различной концентрацией добавки, подвергнутых процессу старения. Данные тестирования свидетельствуют о стабильности системы в течение 48 часов воздействия высоких температур. На основе имеющихся знаний о структуре и дисперсности битума предложена модель взаимодействия реологической добавки внутри системы асфальтены-мальтены.

**Ключевые слова:** битум, реология, вязкость, старение, краевой угол смачивания, реологические добавки.

**Введение.** Динамика развития дорожно-строительной отрасли, вызовы, стоящие перед ней и ответственность за возводимые транспортные объекты, диктуют необходимость изменения подходов к оценке качества и долговечности как битумных вяжущих, так и строительных композитов на их основе. Подобный подход определил необходимость и задал вектор исследований в части органических вяжущих, вывел на первое место значимость не механических (пенетрационная вязкость, температура размягчения), а реологических (динамическая, кинематическая вязкость, предельные напряжения сдвига) параметров битумных вяжущих, что с точки зрения их коллоидного строения справедливо и оправдано. Широкое применение реологических параметров позволяет оценить структурно-механические свойства систем, проследить динамику влияния различных добавок, что в свете необходимости развития инноваций в отрасли является необходимым и эффективным инструментом управления и регулирования не только битумных систем, но и композитов на их основе.

Битум, являясь производным строительным материалом нефти, представляет собой иерархически сложную нестабильную во времени многокомпонентную систему с широким диапазоном варьирования физических и реологических параметров [1]. По современным представлениям это сложная дисперсная система, слагаемая из парафиновых и нафтеновых углеводородов, циклических систем и ароматических углеводородов,

связанных алифатическими цепочками. Базируясь на растворимости ароматических и парафиновых углеводородов, принято выделять три доминирующих группы компонентов: масла, смолы и асфальтены. В этом коллоиде мальтеновая среда (масла+смолы) выступает диспергатором для асфальтенов, которые содержатся в битуме в количестве 10...40 % [2] и являются дисперсной фазой [3].

Для битумов, как и прочих дисперсных систем, ввиду высокоразвитой межфазной поверхности характерны определенные черты: высокая химическая активность и сорбционная способность фазы, избыток свободной энергии, а также, термодинамически и агрегативная неустойчивость [4]. При этом асфальтены являются ключевым структурным элементом и драйвером структурирования битумной системы, влияющим на реологические показатели, как нефти, так и битумных вяжущих, в случае битумов прослеживается также динамика прироста вязко-упругих свойств [5].

Подобные явления, как в нефтяных, так и битумных системах обусловлены склонностью асфальтеновых комплексов (АСК) к самосборке и формированию наноразмерных агрегатов за счет π-π взаимодействий между плоскими участками молекул [4, 6–7] или ароматическими кольцами [8].

Анализ публикаций [4, 9] демонстрирует, что независимо от используемых приемов исследования и моделирования нефтяных и битумных

дисперсных систем выработано устоявшееся мнение, что основными типами взаимодействий между АСК являются Ван-дер-Ваальсовы и кулоновские силы, для ряда химических структур АСК характерно образование водородных связей. Следующим важным утверждением является пачечная конфигурация агрегатов асфальтенов с параллельной ориентацией, то есть наблюдается формирование асфальтеновых фракталов или кластеров [10–11].

В соответствии с современным коллоидно-химическими представлениями [12–15] существует несколько теорий строения нефтяных битумных систем:

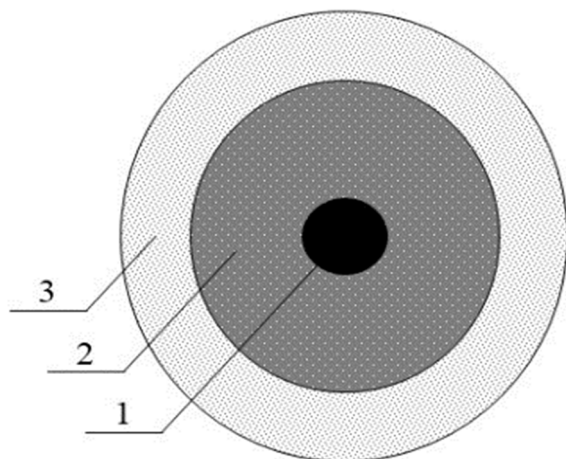


Рис. 1. Сложная структурная единица [16]  
1 – ядро; 2 – сольватная оболочка;  
3 – дисперсионная среда

Анализ знаний [14–21] о строении частиц, природе смол, масел и асфальтенов, позволяет предположить:

– асфальтены выступают в роли ядра агрегата, несущего определенный заряд системы, отличаются повышенной полярностью и способностью к растворению в ароматических и полярных растворителях, а также высокой адсорбционной способностью;

– смолы, адсорбируясь на поверхности асфальтенов, образуют слой противоионов и входят в диффузный слой среды системы, являющийся ингибитором флокуляции АСК. Смолистые компоненты НДС отличаются высокой ароматичностью, что определяет их роль растворителей или диспергаторов асфальтенов [21];

– масла являются дисперсионной средой, в которой происходит взаимодействие между частицами. Совместно с маслами слагают дисперсионную среду или мальтеновую часть.

На основе данных моделей строения частиц Угнер [21] предложил описание взаимодействия молекул в дисперсионной системе по принципу заряда и спина (рис 3).

– битум как нефтяная дисперсионная система (НДС) [16];

– битум как коллоидная система с дисперсионными фазами (асфальтенами) и дисперсионной средой (мальтенами) [17].

В рамках НДС [16, 18] конгломераты асфальтенов и мальтенов принято называть сложной структурной единицей (ССЕ), состоящей из ядра и сольватной оболочки (рис. 1).

В рамках коллоидной теории строения [17, 19–20], частицы битума называют мицеллой, состоящей из ядра, слоя противоионов, коллоидной частицы и диффузного слоя (рис. 2).

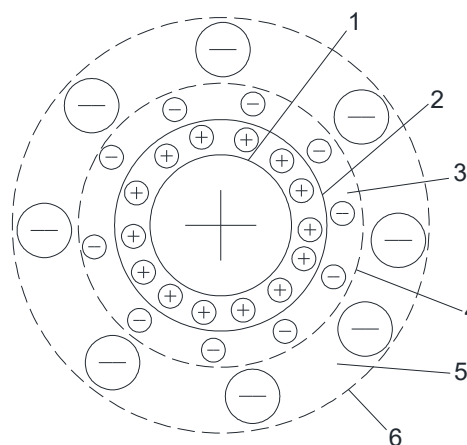


Рис. 2. Строение мицеллы [19]  
1 – агрегат; 2 – ядро; 3 – слой противоионов;  
4 – коллоидная частица; 5 – диффузный слой;  
6 – мицелла

В соответствии с теорией [21] системы зарядового принципа способны передавать заряд на большое расстояние, а модель ассоциативной комбинации возможно построить, основываясь на величинах избыточного или недостающего заряда. Равномерное распределение мицелл в системе можно объяснить наличием одноименного заряда на внешних концах молекул, как показано на рисунке 2. Основываясь на магнитных свойствах, система приходит в равновесное положение.

Спиновая модель взаимодействия, при отсутствии внешнего возбудителя, действует по такому же принципу, как и зарядовая: молекула способна передавать обменное воздействие, распространяя его, таким образом, на всю систему. Сосредоточенность обменного воздействия в большом объеме приводит к кратности спин-поляризованных слоев, так же как зарядовая поляризация приводит к кратным электрическим слоям. В связи с тем, что хвосты спин-поляризованных молекул параллельны, возникает взаимное отталкивание, что делает такую систему довольно прочной и устойчивой [21].

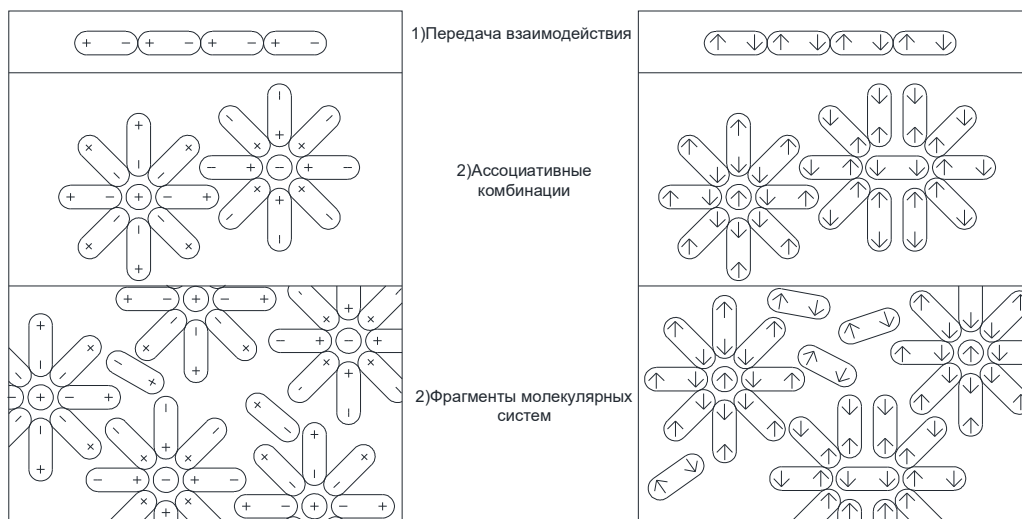


Рис. 3. Зарядовая и спиновая модели взаимодействия молекулярных систем [21]

Таким образом, можно предположить, что зарядовое взаимодействие оказывает влияние на все процессы, происходящие в НДС, однако, воздействие высоких температур или давления влияют на магнитные свойства системы, провоцируя смещение равновесия с изменением ее свойств. В зависимости от интенсивности воздействия внешних факторов можно наблюдать увеличение магнитных частиц в результате их агломерации или самосборки (роста числа и размеров агрегатов асфальтенов) [22].

Стоит отметить, что, имея разнящееся видение относительно строения нефтяных битумных

систем, ученое сообщество склоняется к мнению, об иерархическом характере строения нефтяных остатков и надмолекулярных структур в них [4, 23-27].

Таким образом, каждая последующая работа в области структурирования АСК или асфальтоногеза [28], является продолжением и развитием направления исследований, начатых Йеном [29-30].

Выполненная систематизация знаний позволила И.Р. Кузееву [31] предложить следующую иерархию формирования надмолекулярной структуры АСК (рис. 4).

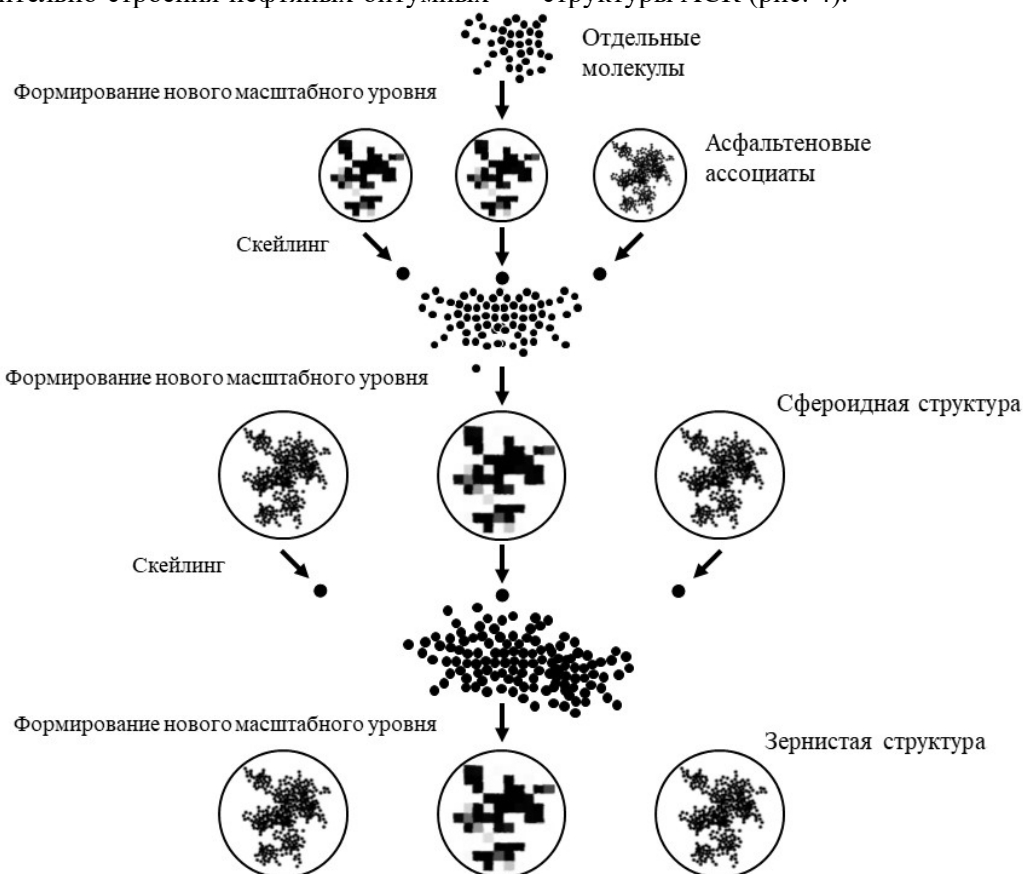


Рис. 4. Иерархическая модель стадий роста асфальтеновой дисперсной фазы [31]

В соответствии с предложенной моделью, первому уровню образований соответствуют первичные асфальтеновые ассоциаты с размерностью 7...10 нм, затем следуют сфероидные образования величиной 100...900 нм, которые в процессе самосборки трансформируются в зернистую структуру вещества размером  $(1...5) \cdot 100^4$  нм, затем формируются скопления зерен величиной  $(2...7) \cdot 100^5$  нм. Полученные данные нашли подтверждение в ряде многих работ и позволили разработать теорию о фрактальности парамагнитных образованиях дисперсной фазы [24]. В свою очередь, исследования авторов [32] подтвердили модель Йена и продемонстрировали наличие трех этапов самосборки АСК: число молекул асфальтенов или агрегационное число  $g_z = 8...10$  – наноагрегация;  $g_z = 14...16$  – кластеризация, флокуляция возникает при самосборке асфальтенов в агрегаты с  $g_z \geq 25$ .

Значимый вклад в понимание и определение молекул асфальтенов внесли работы [33–36], информирующие, что только асфальтены растворяются до образования в 2...3 молекулы и не агрегируют при использовании теста на растворимость в толуоле и бензоле.

Из проекции знаний, полученных о строении и фазовых превращениях в НДС на битумы нефтяные дорожные, следует, что в процессе технологических операций по доставке, отгрузке битумных вяжущих потребителю, а также на этапе переработки битумного вяжущего в строительную продукцию (мастики, эмульсии, асфальтобетонная смесь и др.) дисперсионная среда и асфальтены в битумах подвергаются химическим и физическим преобразованиям, происходят динамические процессы образования-разрушения кластеров, состоящих из макромолекул и их ассоциатов. Это обусловлено тем, что изменения в мальтеновой среде битума протекают более динамично, в результате чего масла и смолы деградируют, теряя свою ароматичность и растворяющую способность. Нарушение равновесия в системе создает благоприятные условия для самосборки (агрегации) асфальтенов и их седиментации, в результате случайных блужданий сначала формируется большое число мелких кластеров. Дальнейшее движение и агрегация частиц и кластеров приводит к образованию связанной пачечной системы кластеров из асфальтенов [10], что проецируется на показатели свойств битума и, в первую очередь, на его реологические параметры.

Стоит отметить, интересные процессы, выявленные коллективом авторов [37, 38], связанные с обратимостью структурирования асфальтенов и возвращению НДС в устойчивое коллоид-

ное состояние при нагревании в диапазоне температур 120...140 °С. Подобные переходы исследователи объясняют ослаблением взаимодействия между асфальтенами в кластерах и возникновением «дефектов» структуры, в результате чего возрастает «затухающая» растворяющая способность мальтеновой части, наблюдается временная пептизация АСК. Однако, необходимо понимать, что любые компонентные превращения, протекающие при термолизе битума, связанные с временной пептизацией АСК, деструкцией и образованием новых структур асфальтенов представляют собой последовательный процесс конденсации и агрегации с образованием после каждого термического цикла более высокомолекулярных соединений.

Процессам, протекающим в асфальтенах, выделенных из природного битума, при температуре 120 °С также посвящена работа [39], в которой отмечается, что асфальтены претерпевают термическую деструкцию за счет разрыва ковалентных связей с образованием газообразных, масляных и смолистых продуктов с увеличением ароматичности и снижением доли нафтенового и алифатического углерода за счет отщепления низкомолекулярных фрагментов и последующей рекомбинацией крупных радикалов с увеличением молекулярной массы. Описанные механизмы превращений в полной мере отражают и объясняют динамику процессов, протекающих в битумных системах. Специфика структуры битума и сфер его применения определяют ряд его ключевых особенностей перед другими НДС. Так, например, битум в течение фазы существования (от выпуска партии до укладки в составе асфальтобетонной смеси в покрытие и после) претерпевает циклические термические воздействия, нарушающие равновесие коллоидной системы. Интенсивность деструктивных процессов усугубляется воздействием внешних факторов. Самыми агрессивными из них являются, как отмечалось, высокие температуры и давление, инициирующие процесс самосборки АСК в битуме, необратимо изменяющие структуру, а, следовательно, способствующие его старению. Запущенный процесс старения битумного вяжущего, с точки зрения коллоидной химии, проявляется неравномерно, посредством изменения его дисперсной структуры, реологических, а, впоследствии, и физических характеристик.

Фундаментальными исследованиями [40] было доказано, что структурирование в ассоциаты асфальтенов НДС начинается при достижении определенной концентрации свободных радикалов. Следовательно, скорость образования и самосборки свободных радикалов определяет ин-

тенсивность протекания самоорганизации асфальтенов во флоккулы [40] или зернистую структуру [40] и деструкции битума, с точки зрения реологических и эксплуатационных параметров. Если рассматривать технологический процесс приготовления асфальтобетонной смеси на АБЗ, где битум распределяется на поверхности каменного материала в тонкой пленке, то негативное воздействие температуры и давления увеличивается за счет сегрегации компонентов битума в структуру минерального материала [41], как итог, вязущее в смеси, выходит с непрогнозируемыми свойствами [42].

Таким образом, можно предположить, что ингибируя процессы агрегации АСК и формируя буферную зону из мальтеновой части с подавлением интенсивности фазовых переходов можно замедлить интенсивность деструктивных процессов в битуме.

Воздействовать на структуру битума, с целью улучшения реологических характеристик, возможно несколькими способами: при помощи магнитного поля [43], обработки ультразвуком [44], введением реологических добавок [19, 45–47] или создавая физические барьеры агрегации асфальтенов [48, 49].

Известно [43, 50], что в процессе воздействия магнитного поля на коллоидную битумную систему наблюдается увеличение содержания насыщенных и ароматических соединений и уменьшение смол и асфальтенов. При этом, было установлено, что битумная система под воздействием только магнитного поля склонна к восстановлению полному или частичному. Применение ультразвуковой обработки битума влияет на температуру начала кристаллизации, замедляя фазовые переходы мальтеновой части в асфальтены

[44, 51–52]. Однако данные изменения не способны сохранять свою стабильность в течение длительного времени, а процесс релаксации системы составляет 2–7 суток [44].

Таким образом, имеющиеся исследовательские работы демонстрируют, что наиболее эффективным способом регулирования показателей свойств битума, в том числе реологических, является введение малого количества добавки. Подобные технологические подходы нацелены не только на улучшение показателей битума, но и асфальтобетонной смеси [53–54].

В последнее время в разных отраслях [55–59] набирает популярность использование добавки на основе органоглины. Наиболее широко такие добавки используются в лакокрасочной промышленности для повышения стойкости красок, доказана возможность повышения прочности бетона, модифицированного органоглиной. Однако воздействие органоглин на битумные системы практически не изучено. Очевидно, что перспективным и соответствующим передовому уровню техники является изучение влияния реологических добавок на битумную систему.

Целью работы является исследование влияние реологической добавки «Viscogel ED2» и механизма ее действия на реологические свойства битума марки БНД, а также его структурно-механические показатели.

**Материалы и методы.** Реологическая добавка «Viscogel ED2» - это мелкодисперсный порошок белого цвета. В соответствии с выполненными ранее исследованиями [60], общий химический анализ порошка показал значительное присутствие двух элементов: углерода и кислорода, а также меньшее количество различных примесей (табл. 1).

Таблица 1

#### Химический состав модифицирующей добавки

Химические элементы	C	O	Al	Mg	Si	Fe
Масса, %	33,3	34,52	7,59	1,36	20,13	1,50

Так же, в составе содержится незначительное количество таких элементов как: Na, P, S, Cl, K, Ca.

Исследование структуры порошка на растровом электронном микроскопе показало, что добавка состоит из мелкодисперсных зерен средним размером 20–40 мкм (рис. 5) в сухом состоянии.

Исследование влияния добавки на структуру битума производилось на основе измерения динамической вязкости, которая была выбрана основополагающим реологическим фактором. В случае, если добавка оказывает какое-то воздействие на дисперсную структуру битума, в первую

очередь это отразится на изменении вязкости образца [60–62].

В работе использовался битум нефтяной дорожной марки БНД 50/70, Московского НПЗ (табл. 2).

Показатели свойств битума определялись в соответствии со стандартными методиками: пенетрация при температуре тестирования 0 и 25 °С по ГОСТ 11501-78, температуры размягчения и хрупкости по ГОСТ 11506-73 и ГОСТ 11507-78 соответственно.

В подготовленные и разогретые до 140 °С пробы битума вводилась реологическая добавка в количестве 1–5 %, после чего система подвер-

галась перемешиванию посредством лабораторного смесителя «Silverson L5T» в течение

30–40 минут. Сразу после смешения пробы помещались в кюветы, для дальнейшего испытания на вискозиметре.

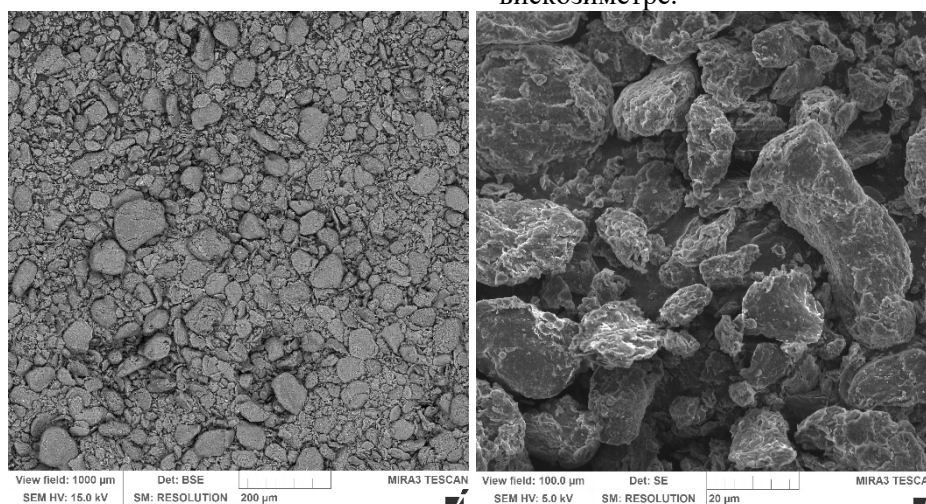


Рис. 5. Микрофотографии добавки «Viscogel ED2»

Таблица 2

#### Химический состав модифицирующей добавки

Глубина проникания иглы (пенетрация), мм <sup>-1</sup>		Температура, °С	
25 °С	0 °С	размягчения	хрупкости
55	25	53	-19

Измерение динамической вязкости производилось на ротационном вискозиметре Brookfield DV2T. Температура испытания составляла от 120 до 200 °С с шагом в 20 °С. Скорость вращения шпинделя подбиралась индивидуально для каждой температуры испытаний, исходя из инструкции к проведению испытаний «Brookfield DV2T. Operating Instructions. Manual No. M13-167».

Также определялся краевой угол смачивания, который является важной технологической характеристикой и косвенно характеризует адгезионные свойства битума и каменного материала [63, 64].

Для этого образцы битума модифицировались добавкой в количестве: 0,5 %, 1 %, 2,5 % от массы битума и перемешивались по тому же принципу, как при определении вязкости. Полученные пробы подвергались процессу старения в сушильном шкафу в течение: 24 и 48 часов при температуре 165 °С, с обеспечением контакта битума с воздушной средой. Осаждение капли осуществлялось на подготовленное предметное стекло при температуре битума 120 °С, так как при данной температуре наблюдаются наибольшие расхождения в вязкости образцов и, как следствие, более явно выраженные реологические свойства [60].

**Основная часть.** В основе товарной добавки с коммерческим названием «Viscogel ED2» лежит бентонитовая глина из группы смектитов,

состоящая главным образом из монтмориллонита. Механизм действия рассматриваемой добавки заключается в способности разбухать при поглощении органических молекул растворителей и обладает значительными катионообменными свойствами.

На сегодняшний день Viscogel, как и другие органоглины, в том числе Российского производства, нашел свое широкое применение в лакокрасочной промышленности, что обусловлено совокупностью его уникальных свойств: тиксотропная добавка проявляет легкость при диспергировании, предотвращает оседание пигментов в коллоидной системе, контролирует реологические параметры систем, отличается высокой диспергируемостью.

Основываясь на коллоидном строении битума и знаниях о природе взаимодействия составляющих среды и асфальтеновой фазы, можно предположить, что частицы реологической добавки, вступая во взаимодействие с мальтеновой средой, являющейся полярным органическим растворителем, набухают и притягиваются к наиболее полярным частицам битума – асфальтенам, создают устойчивую буферную зону, препятствующую процессам самосборки асфальтенов в различные по размерности структуры. Таким образом, происходит физическое отделение фазы (асфальтенов) и мальтеновой среды (рис. 6).

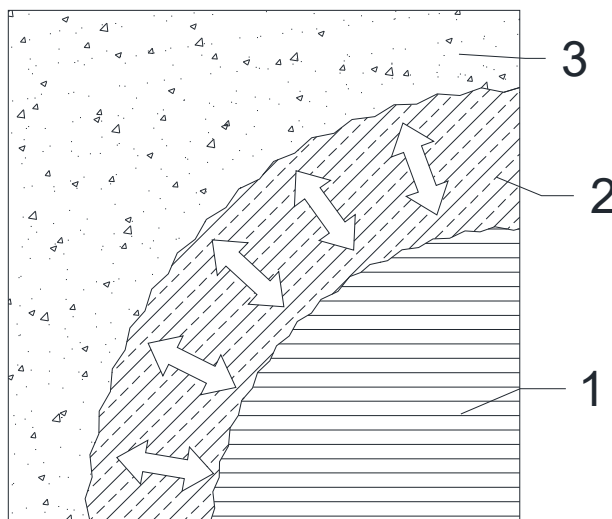


Рис. 6. Схема взаимодействия добавки в дисперсной структуре битума:  
 1 – асфальтовая фаза, 2 – буферная зона, образованная добавкой в мальтеновой среде,  
 3 – мальтеновая среда

Можно предположить, что такое взаимодействие будет препятствовать агрегации асфальтовых и фазовым переходам мальтенов в асфальтены, сохраняя систему стабильной в течение времени под воздействием внешних факторов,

замедляя процессы деструкции в структуре битумного вяжущего и делая такую систему менее склонной к процессам старения.

Результаты измерения динамической вязкости (рис. 7) показали, что увеличение показателя вязкости наблюдается в образцах с концентрацией добавки 2–5 %.

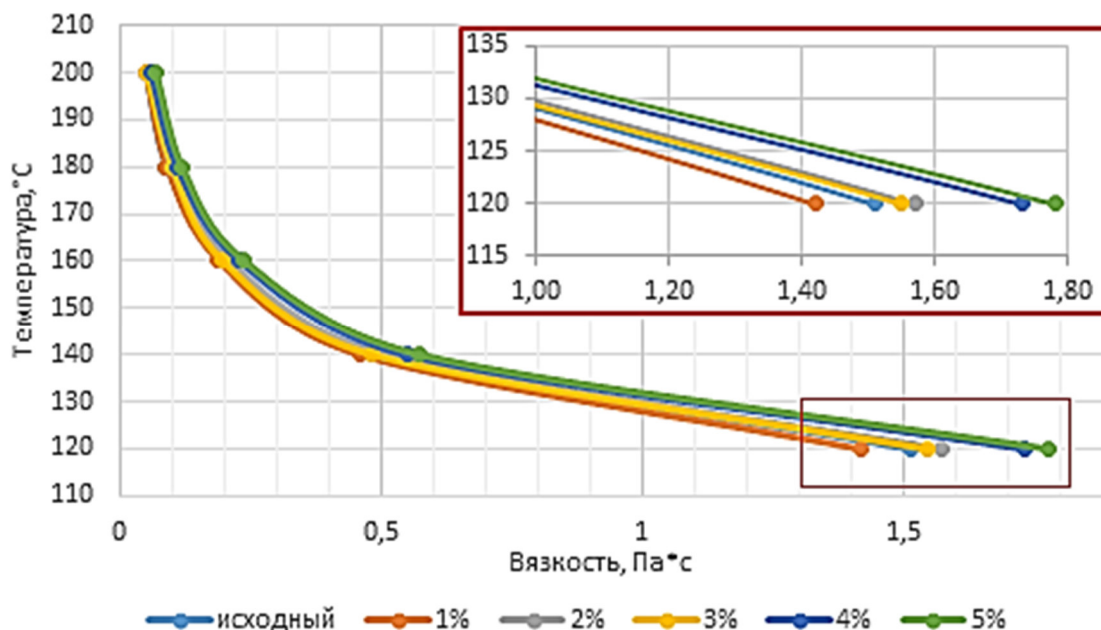


Рис. 7. Зависимость вязкости образца битума от концентрации реологической добавки

В образце с содержанием добавки 1 % кривая вязкости располагается ниже кривой исходного образца битума на протяжении всего цикла испытаний в диапазоне температур 120–200 °С. Данные результаты подтверждают предположения о воздействии добавки «Viscogel» на реологические свойства битума. Можно предположить, что уменьшение вязкости коллоида связано с влиянием добавки на структурные связи внутри системы. Кроме того, по результатам вязкости

можно предположить, что в дальнейшем битум, модифицированный 1 % добавки «Viscogel» будет обладать более устойчивыми реологическими свойствами.

Результаты определения краевого угла смачивания образцов битума подтверждают данные по вязкости о стабильности реологических свойств образца, модифицированного 1 % добавки «Viscogel» (табл. 3).

Таблица 3  
**Краевой угол смачивания  
 модифицированных образцов битума**

Время старения, ч	Концентрация модификатора, %			
	0	0,5	1,0	2,5
0	95,52	101,89	94,00	96,52
24	103,37	102,25	94,24	101,23
48	115,77	108,78	96,61	110,31

В соответствии с представленными данными видно, что в образце с содержанием 1 % модификатора изменение краевого угла смачивания через 24 часа испытания практически не произошло, а по прошествии 48 часов прирост показателя величины краевого угла смачивания значительно меньше данных, полученных для параллельных наполненных битумных систем.

В соответствии с исследованиями [65], краевой угол смачивания может свидетельствовать о качестве битумного вяжущего, применяемого в асфальтобетонной смеси (рис. 8).

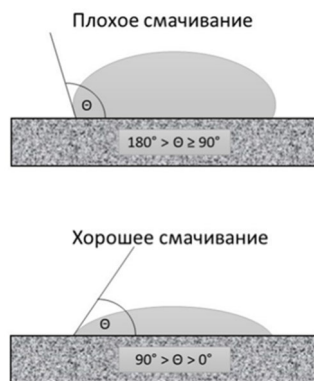


Рис. 8. Угол смачивания капли битума [34]

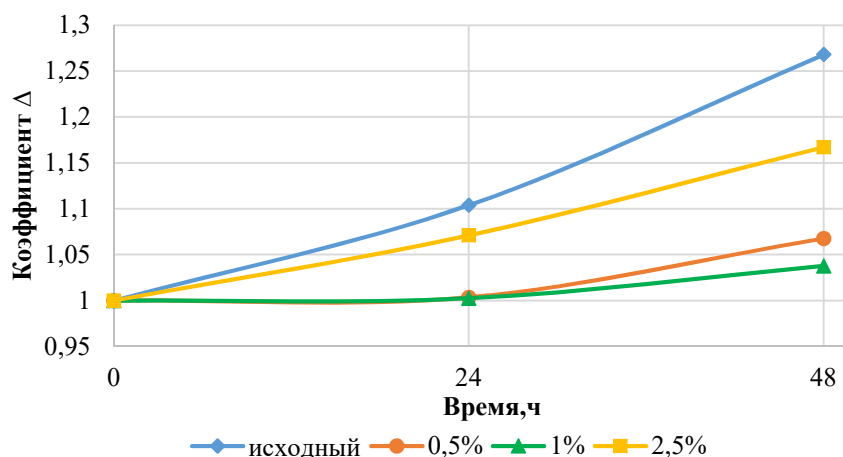


Рис. 9. Динамика изменения вязкости образцов битума в процессе старения

Из графика видно, что образец, модифицированный 1 % реологической добавки, показывает наименьшее отклонение от исходных показателей битумного коллоида в начальный момент эксперимента. Максимальный прирост реологических характеристик характерен для эталонного

Смачивание описывает поведение жидкости, в нашем случае битумной системы, при контакте с поверхностью твердого вещества, когда поведение системы определяется ее поверхностным натяжением. Можно предположить, что в случае введения в битум реологической добавки в количестве 1 % формируются устойчивые когезионные связи, позволяющие сохранить каплю устойчивой под действием высоких температур в течение времени постановки эксперимента [60]. Очевидно, что за счет увеличения когезии внутри исходного битума и вяжущих, модифицированных не оптимальным содержанием добавки, наблюдается ухудшение смачивания поверхности и увеличение жесткости системы ввиду нарушения равновесия в коллоидной системе, проявляющейся в виде истощения или деградации мальтевой среды. Основной характеристикой состояния в этом случае, очевидно, выступает механическая связанность участвующих фаз, вызванная упрочнением молекулярного взаимодействия в пограничном слое. Согласно теории адсорбции и смачивания, сохранение угла смачивания вяжущего, в процессе термостатирования, модифицированного 1 % добавки, сохраняет термодинамическое равновесие в течение всего процесса. В случае, если пограничный слой битумного коллоида термодинамически не стабилен, капля изменяется.

Вводя коэффициент «Δ», обозначающий соотношение показателей образцов битума до и после старения получим следующие данные (рис. 9).

битума без модификации реологической добавкой.

**Выводы.** Предложена схема взаимодействия реологической добавки с дисперсной коллоидной структурой битума.



В результате определения вязкости и краевого угла смачивания установлено рациональное содержание добавки, позволяющее управлять реологическими и технологическими показателями битума. Можно сделать вывод, что введение вообще реологических добавок и, в частности, 1 % добавки «Viscogel» наилучшим образом влияет на показатели битума, уменьшая вязкость, но при этом сохраняя когезионные свойства битума.

На примере добавки «Viscogel ED2» доказана эффективность реологических добавок как инструмента, позволяющего сохранять стабильность коллоидной системы в процессе термолиза. Можно предположить, что применение подобных модификаторов позволяет формировать буферную зону на границе раздела «асфальтеновая фаза – дисперсионная среда (мальтеновая часть)», предохраняя мальтеновую часть от преждевременной деградации, тем самым затормаживая процессы самосборки асфальтенов. В общем виде, процесс модифицирования заключается в ингибировании битума от пагубного воздействия процессов старения, сохранении равновесия в системе «асфальтены – мальтены» и стабилизации свойств вяжущего.

Результаты исследования свидетельствуют о необходимости дальнейшей проработки воздействия реологической добавки не только на битум, но и на свойства асфальтобетонной смеси.

**Благодарность.** Работа выполнена с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фазылзянова Г.Р., Охотникова Е.С., Юсупова Т.Н., Ганеева Ю.М. Влияние структурно-группового состава асфальтенов на технологические свойства битумов // Вестник Технологического университета. 2021. Т. 24. № 2. С. 70–73.
2. Сюняев З.И., Сафиева Р.З., Сюняев Р.З. Нефтяные дисперсные системы. Москва: Химия, 1990. 224 с.
3. Савицкая Т.А., Котиков Д.А. Пособие для самостоятельной работы над лекционным курсом Коллоидная химия: вопросы, ответы и упражнения. Пособие для студентов химического факультета. Минск: БГУ, 2009. 140 с.
4. Ткачев С.М. Иерархическая структура строения нефтяных остатков и битумов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. 2006. № 4. С. 150–155.
5. Фролов И.Н., Юсупова Т.Н., Зиганшин М.А., Охотникова Е.С., Фирсин А.А. Релаксационные и фазовые переходы при формировании структуры нефтяных битумов по данным модулированной ДСК // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19, № 5. С. 67–72.
6. Mullins O.C. The Asphaltenes // Annu. Rev. Anal. Chem. 2011. Vol. 4. Pp. 393–418. DOI:10.1146/annurev-anchem-061010-113849
7. Fávero C.V.B., Maqbool T., Hoepfner M., Haji-Akbari N., Fogler H.S. Revisiting the flocculation kinetics of destabilized asphaltenes // Adv. Coll. Interf. Sci. 2017. Vol. 244. Pp. 267–280. DOI: 10.1016/j.cis.2016.06.013
8. Wang H., Xu H., Jia W., Liu J., Ren S. Revealing the Intermolecular Interactions of Asphaltene Dimers by Quantum Chemical Calculations // Energy&Fuels. 2017. Vol. 31. № 3. Pp. 2488–2495. DOI:10.1021/acs.energyfuels.6b02738
9. Люлин С.В., Глова А.В., Фалькович С.Г., Иванов В.А., Назарычев В.М., Люлин А.В., Ларин С.В., Антонов С.В., Ganap R., Kenny J.M. Компьютерное моделирование асфальтенов (обзор) // Нефтехимия. 2018. Т. 58, № 6. С. 633–656. DOI:10.1134/S002824211806014X
10. Мухаметзянов И.З. Идентификация структуры при компьютерном имитационном моделировании кластеров в нефтяных дисперсных системах // Кибернетика и программирование. 2016. № 3. С. 66–75. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.3.19244
11. Мухаметзянов И.З., Кузеев И.Р. Фрактальная структура парамагнитных агрегатов нефтяных пексов // Коллоидный журнал 1991. Т. 53. № 4. С. 762–766.
12. Доломатов М.Ю., Шуткова С.А., Дезорцев С.В. Исследование структуры наночастиц нефтяных асфальтенов // Башкирский химический журнал. 2011. № 3. С. 18–21.
13. Рыскулова Г.Р., Ширяева Р.Н., Серебренников Д.В. Исследование состава асфальтенов высоковязких нефтей методом ИК-спектроскопии // Вестник Башкирск. ун-та. 2016. № 4. С. 928-929.
14. Доломатов М.Ю., Шуткова С.А., Дезорцев С.В. Исследование характеристик электронной структуры нефтяных смол и асфальтенов // Башкирский химический журнал. 2010. Т. 17, № 3. С. 211–218.
15. Шуткова С. А., Доломатов М. Ю., Бахтин Р. З., Телин А. Г., Шуляковская Д. О., Харисов Б. Р., Дезорцев С. В. Исследование надмолекулярной структуры наночастиц нефтяных асфальтенов // Башкирский химический журнал. 2012. № 4. С. 220–225.
16. Келбалиев Г.И., Расулов С.Р., Тагиев Д.Б., Мустафаева Г.Р. Механика и реология нефтяных дисперсных систем: монография. Москва: Маска, 2017. 462 с.

17. Баранов В.Я., Фролов В.И. Электрокинетические явления. Учебное пособие. М.: ФГУП «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2007. 54 с.
18. Туманян Б. П. Научные и прикладные аспекты теории нефтяных дисперсных систем. М.: ООО «ТУМА ГРУПП»; Изд-во «Техника», 2000. 336 с.
19. Нейман Р.Э., Вережников В.Н., Кирдеева А.П.; Нейман Р.Э., Вережников В.Н., Кирдеева А.П. Практикум по коллоидной химии (Коллоидная химия латексов и поверхностно-активных веществ): Для химико-технологических специальностей вузов. М.: Издательство "Высшая Школа", 1972. 176 с.
20. Лефедова О.В., Немцева М.П., Вашурин А.С. Основные понятия и определения дисциплин «Физическая химия» и «Коллоидная химия»: учеб. Пособие. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2017. 109 с.
21. Унгер Ф.Г. Наносистемы, дисперсные системы, квантовая механика, спиновая химия. Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. 259 с.
22. Лесин В.И., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б. Магнитные наночастицы в нефти // Нефтехимия. 2010. Т. 50, № 2. С. 114–117.
23. Yen T.F. Structures and dynamics of asphaltenes. New York.: Plenum Press, 1998. 450 p.
24. Мухаметзянов И.З. Структурирование в жидкой фазе и фазовые переходы при термоллизе нефтяных остатков: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа: УНИ, 1990.
25. Куликов Д.В., Мекалова Н.В., Закирничная М.М. Физическая природа разрушения: Учеб. пособие для вузов / Под общ. ред. И.Р. Кузеева. Уфа.: УГНТУ, 1999. 396 с.
26. Суховило Н.П., Ткачев С.М., Ощепкова Н.В. Изучение надмолекулярной структуры дорожных битумов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. 2004. № 4. С. 62–68.
27. Кузеев И.Р., Абызгильдин Ю.М., Мухаметзянов И.З. Фазовые переходы в нефтяных системах при термоллизе с образованием твердого углеродистого вещества. Уфа: УГНТУ, 1990. 118 с.
28. Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д., Мошкин Р.И. Влияние технологии производства на асфальтогенез в дисперсно-армированных битумо-минеральных композициях // Вестник ТГАСУ. 2022. Т. 24. № 5. С. 178–188. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-5-178-188
29. Галимова Г.А., Юсупова Т.Н., Ибрагимова Д.А., Якупов И.Р. Состав, свойства, структура и фракции асфальтенов нефтяных дисперсных систем // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 20. С. 60–64.
30. Сафиева Р.З. Химия нефти и газа. Нефтяные дисперсные системы: состав и свойства (часть 1): Учебное пособие. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. 112 с.
31. Кузеев И.Р., Самигуллин Г.Х., Куликов Д.В., Закирничная М.М., Мекалова Н.В. Сложные системы в природе и технике. Уфа: УГНТУ, 1997. 227 с.
32. Sedghi M., Goual L., Welch W., Kubelka J. Effect of asphaltene structure on association and aggregation using molecular dynamics // J. Phys. Chem. B. 2013. Vol. 117, № 18. Pp. 5765–76. DOI:10.1021/jp401584u
33. Goual L., Sedghi M., Wang X., Zhu Z. Asphaltene aggregation and impact of alkylphenols // Langmuir. 2014. № 30 (19). Pp. 5394–403. DOI:10.1021/la500615k
34. Dunn N.J.H., Gutama B., Noid W.G. Simple Simulation Model for Exploring the Effects of Solvent and Structure on Asphaltene Aggregation // J. Phys. Chem. B. 2019. №. 123 (28). Pp. 6111–6122. DOI: 10.1021/acs.jpcc.9b04275
35. Sjöblom J., Simon S., Xu Z. Model molecules mimicking asphaltenes // Adv Colloid Interface Sci. 2015. Vol. 218. Pp. 1–16. DOI:10.1016/j.cis.2015.01.002
36. Torres A., Amaya Suárez J., Remesal E.R., Márquez A.M., Fernández Sanz J., Rincón Cañibano C. Adsorption of prototypical asphaltenes on silica: first-principles DFT simulations including dispersion corrections // J. Phys. Chem. B. 2018. Vol. 122, № 2. Pp. 618–624. DOI:10.1021/ACS.JPCB.7B05188
37. Ганеева Ю.М., Юсупова Т.Н., Романов Г.В. Структурная организация асфальтенов // Доклады Академии наук. 2009. Т. 426, № 5. С. 629–631.
38. Шигабутдинов А.К., Пресняков В.В., Ананд В., Новиков М.А. Физико-химические и технологические характеристики остатка комбинированного гидрокрекинга гудрона, получаемого при промышленной эксплуатации установки VCC на КГПТО АО «ТАИФ-НК» // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25, № 7. С. 55–59. DOI:10.55421/1998-7072\_2022\_25\_7\_55
39. Корнеев Д.С., Певнева Г.С., Головкин А.К. Термические превращения асфальтенов тяжелых нефтей при температуре 120 °С // Журнал СФУ. Химия. 2019. № 1. С. 101–117. DOI: 10.17516/1998-2836-0110
40. Кузеев И.Р., Куликов Д.В., Хайбулин А.А. Структурная организация нефтяных пеков // Нефть и газ. 1997. № 4. С. 93–101.
41. Рыбачук Н.А. Старение битумного вяжущего // Вестник ИрГТУ. 2015. № 2(97). С. 120–125.

42. Скрипкин А.Д., Старков Г.Б., Колесник Д.А. Оценка старения битума в тонких пленках с применением анализатора тонкой хроматографии «Iatroscan Mk-5» // Вестник ХНАДУ. 2008. № 40. С. 32–35.
43. Мусина Н.С., Марютина Т.А. Применение магнитной обработки для изменения состава и физико-химических свойств нефти и нефтепродуктов // Журнал аналитической химии. 2016. Т. 71, № 1. С. 29–36. DOI: 10.7868/S0044450216010096
44. Ануфриев Р.В., Волкова Г.И. Влияние ультразвука на структурно-механические свойства нефтей и процесс осадкообразования // Известия ТПУ. 2016. Т. 327, № 10. С. 50–58.
45. Беляев К.В., Чулкова И.Л. Модификация битума техническим углеродом // Вестник СибаДИ. 2019. Том. 16, № 4 (68). С. 472–484.
46. Ильин С.О., Аринина М.П., Мамулат Ю.С., Малкин А.Я., Куличихин В.Г. Реологические свойства дорожных битумов, модифицированных полимерными и наноразмерными твердыми добавками // Коллоидный журнал. 2014. Т. 76, № 4. С. 461–471. DOI: 10.7868/S0023291214040053
47. Galeev R., Abdrakhmanova L., Nizamov R. Nanomodified organic-inorganic polymeric binders for polymer building materials // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 276. Pp. 223–228. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.276.223
48. Шеховцова С.Ю., Высоцкая М.А. Влияние углеродных нанотрубок на свойства ПБВ и асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 110–119.
49. Бояр С.В., Копытов М.А. Структурно-групповые характеристики смол и асфальтенов, выделенных из продуктов термолитиза смеси нефтяного остатка и подсолнечного масла // Башкирский химический журнал. 2021. Т. 28, № 3. С. 58–64. DOI:10.17122/bcj-2021-3-58-64
50. Лоскутова Ю.В., Юдина Н.В. Влияние магнитного поля на структурно-реологические свойства нефтей // Известия ТПУ. 2006. № 4. С. 104–109.
51. Муллакаев М.С., Абрамов В.О., Волкова Г.И., Прозорова И.В., Юдина Н.В. Исследование влияния ультразвукового воздействия и химических реагентов на реологические свойства вязких нефтей // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2010. № 5. С. 31–34.
52. Волкова Г.И., Ануфриев Р.В., Юдина Н.В. Влияние ультразвуковой обработки на состав и свойства парафинистой высокосмолистой нефти // Нефтехимия. 2016. Т. 56, № 5. С. 454–460. DOI 10.7868/S0028242116050208
53. Шестаков Н.И., Урханова Л.А., Буянтуев С.Л., Семенов А.П., Смирнягина Н.Н. Асфальтобетон с использованием углеродных наномодификаторов // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2015. № 6. С. 131–139.
54. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Разработка наномодификаторов и исследование их влияния на свойства битумных вяжущих веществ // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 131–139.
55. Бегиева М.Б., Соблирова А.А., Бляшев А.В., Амшокова Д.Б., Хараев А.М. Органоглина модифицированная N-диаллиламиноизоопентановой кислотой и исследование ее структуры // Технические науки – от теории к практике. 2016. №5-2 (53). С. 18–24.
56. Логанина В. И., Петухова Н. А. Повышение стойкости полистирольных красок при введении в рецептуру органоминеральной добавки // ВЕЖПТ. 2013. №6 (63). С. 21–26.
57. Логанина В.И., Акжигитова Э.Р., Фадеева Г.Д. Сухие строительные смеси с применением местных материалов Пензенского региона // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8. С. 37–41.
58. Bulanov P.E. Mavliev L.F., Vdovin E.A., Yagund E.M. The interaction between the kaolinite or bentonite clay and plasticizing surface-Active agents // Mag. Civ. Eng. 2017. Vol. 75. №. 7. Pp. 171–179. DOI: 10.18720/MCE.75.17
59. Переломов Л.В., Атрощенко Ю.М., Минкина Т.М. Переломова И.В., Бауэр Т.В., Пинский Д.Л. Органоглины – новый класс перспективных сорбентов для ремедиации химически загрязненных объектов окружающей среды // Агрохимия. 2021. № 8. С. 82–96. DOI:10.31857/S0002188121080111
60. Киндеев О.Н., Лашин М.В., Курлыкина А.В. Исследование влияния реологической добавки «Viscogel» на краевой угол смачивания битума // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук : Сборник докладов Национальной конференции с международным участием, Белгород, 18–20 мая 2022 года. Том Часть 9. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. С. 113–118.
61. Helal E., Sherif E., Alaa. G., Saaid Z. Evaluation of asphalt enhanced with locally made nanomaterials // Nanotechnologies in Construction. 2016. Vol. 8. № 4. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-4-42-67
62. Sarsam S. Improving Asphalt Cement Properties by Digestion with Nano Materials // Research and Application of Material Journal, (RAM). 2013. Vol. 1, № 6. Pp. 61–64. DOI:10.12966/ram.09.01.2013

63. Архипов В.А., Палеев Д.Ю., Патраков Ю.Ф., Усанина А.С. Определение краевого угла смачивания угольной поверхности // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2011. № 5. С. 22–27.

64. Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А., Дяров И.Н. Оценка адгезии битума к минеральному

материалу в асфальтобетоне на основе его смачивающих свойств // Вестник Казанского технологического университета. 2009. № 4. С. 256–259.

65. Хученройтер Ю., Вернер Т. Асфальт в дорожном строительстве. М.: ИД «АБВ-пресс», 2013. 450 с.

#### Информация об авторах

**Высоцкая Марина Алексеевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: roguri@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Киндеев Олег Николаевич**, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: kindeev.o@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Курлыкина Анастасия Владимировна**, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: anastasiyakurlykina@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Кабалин Максим Дмитриевич**, магистрант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: Maksipit13@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 09.02.2023 г.

© Высоцкая М.А., Киндеев О.Н., Курлыкина А.В., Кабалин М.Д., 2023

*\*Vysotskaya M.A., Kindeev O.N., Kurlykina A.V., Kabalin M.D.*

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

*\*E-mail: roguri@rambler.ru*

## ORGANOCLAY BASED ADDITIVE AS A TOOL FOR CONTROL OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BITUMEN

**Abstract.** Bitumen is a complex, multicomponent colloidal dispersed system based on the interaction of asphaltenes (phases) and maltenes (medium). In the absence of external influence, the system is relatively stable. Any external action shifts the equilibrium state of the colloid and initiates Ysol aggregation, accompanied by a qualitative change in properties. Thus, a quantitative change in the phase of a colloid implies a qualitative change in its state. One of the promising ways to control the structure formation and indicators of bitumen is the use of rheological additives. The paper presents the results on the modification of road bitumen with the additive "Viscogel" in the concentration range of 1-5%. The influence of the additive on the rheological characteristics of bitumen is determined. The optimal amount of the additive, which has a positive effect on the properties of bitumen, has been established. The data obtained are confirmed by the results of determining the contact angle of wetting of bitumen samples with different concentrations of the additive subjected to the aging process. Test data show system stability over 48 hours of exposure to high temperatures. Based on the existing knowledge about the structure and dispersion of bitumen, a model for the interaction of a rheological additive within the asphaltene-maltenes system is proposed.

**Keywords:** bitumen, rheology, viscosity, aging, contact angle, rheological additives.

### REFERENCES

1. Fazylzyanova G.R., Okhotnikova E.S., Yusupova T.N., Ganeeva Yu.M. Influence of the structural-group composition of asphaltenes on the technological properties of bitumens [Vliyaniye strukturno-gruppovogo sostava asfal'tenov na tekhnologicheskie svoystva bitumov]. Bulletin of the Technological University. 2021. Vol. 24, No. 2. Pp. 70–73. (rus)

2. Sunyaev Z.I., Safieva R.Z., Sunyaev R.Z. Oil dispersed systems [Neftyanye dispersnye sistemy]. Moscow: Chemistry, 1990. 224 p. (rus)

3. Savitskaya T.A., Kotikov D.A. A manual for independent work on the lecture course Colloid Chemistry: Questions, Answers and Exercises [Posobie dlya samostoyatel'noj raboty nad lekcionnym kursom Kolloidnaya himiya: voprosy, otvety i uprazhneniya]. Manual for students of the

Faculty of Chemistry. Minsk: BGU, 2009. 140 p. (rus)

4. Tkachev S.M. Hierarchical structure of the structure of oil residues and bitumens [Ier-arhicheskaya struktura stroeniya neftyanyh ostatkov i bitumov]. Bulletin of the Polotsk State University. Series C, Basic Sciences. 2006. No. 4. Pp. 150–155. (rus)

5. Frolov I.N., Yusupova T.N., Ziganshin M.A., Okhotnikova E.S., Firsin A.A. Relaxation and phase transitions during the formation of the structure of oil bitumen according to modulated DSC data [Relaksacionnye i fazovye perekhody pri formirovaniy struktury neftyanyh bitumov po dannym modulirovannoy DSK]. Bulletin of the Kazan Technological University. 2016. Vol. 19, No. 5. Pp. 67–72. (rus)

6. Mullins O.C. The Asphaltenes. Annu. Rev. Anal. Chem. 2011. Vol. 4. Pp. 393–418. DOI: 10.1146/annurev-anchem-061010-113849

7. Fávero C.V.B., Maqbool T., Hoepfner M., Haji-Akbari N., Fogler H.S. Revisiting the flocculation kinetics of destabilized asphaltenes. Adv. Coll. Interf. Sci. 2017. Vol. 244. Pp. 267–280. DOI:10.1016/j.cis.2016.06.013

8. Wang H., Xu H., Jia W., Liu J., Ren S. Revealing the Intermolecular Interactions of Asphaltene Dimers by Quantum Chemical Calculations. Energy&Fuels. 2017. Vol. 31, No. 3. Pp. 2488–2495. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b02738

9. Lyulin S.V., Glova A.V., Falkovich S.G., Ivanov V.A., Nazarychev V.M., Lyulin A.V., Larin S.V., Antonov S.V., Ganan P., Kenny J.M. Computer modeling of asphaltenes (review) [Komp'yuternoe modelirovanie asfal'tenov (obzor)]. Petrochemistry. 2018. Vol. 58, No. 6. Pp. 633–656. DOI: 10.1134/S002824211806014X (rus)

10. Mukhametzyanov I.Z. Structure identification in computer simulation modeling of clusters in oil dispersed systems [Identifikaciya struktury pri komp'yuternom imitacionnom modelirovanii klasterov v neftyanyh dispersnyh sistemah]. Cybernetics and Programming. 2016. No. 3. Pp. 66–75. DOI:10.7256/2306-4196.2016.3.19244 (rus)

11. Mukhametzyanov I.Z., Kuzeev I.R. Fractal structure of paramagnetic aggregates of petroleum pitches [Fraktal'naya struktura paramagnitnyh agregatov neftyanyh pekov]. Colloid. magazine 1991. Vol. 53, No. 4. Pp. 762–766. (rus)

12. Dolomatov M.Yu., Shutkova S.A., Dezortsev S.V. Study of the structure of petroleum asphaltene nanoparticles [Issledovanie struktury nanochastich neftyanyh asfal'tenov]. Bash. chem. well. 2011. No. 3. Pp. 18–21. (rus)

13. Ryskulova G.R., Shiryaeva R.N., Serebrennikov D.V. Investigation of the composition of asphaltenes in high-viscosity oils by IR spectroscopy

[Issledovanie sostava asfal'tenov vysokovyazkih neftej metodom IK-spektroskopii]. Bulletin of Bashkirsksk. university 2016. No. 4. Pp. 928–929. (rus)

14. Dolomatov M.Yu., Shutkova S.A., Dezortsev S.V. Investigation of the characteristics of the electronic structure of petroleum resins and asphaltenes [Issledovanie harakteristik elektronnoy struktury neftyanyh smol i asfal'tenov]. Bash. chem. well. 2010. Vol.17, No. 3. Pp. 211–218. (rus)

15. Shutkova S.A., Dolomatov M.Yu., Bakh-tizin R.Z., Telin A.G., Shulyakovskaya D.O., Khari-sov B.R., Dezortsev S.V. Study of the supramolecular structure of petroleum asphaltene nanoparticles [Issledovanie nadmolekulyarnoy struktury nanochastich neftyanyh asfal'tenov]. Bash. chem. well. 2012. No. 4. Pp. 220–225. (rus)

16. Kelbaliev G.I., Rasulov S.R., Tagiev D.B., Mustafayeva G.R. Mechanics and rheology of petroleum dispersed systems [Mekhanika i reologiya neftyanyh dispersnyh sistem]: monograph. Moscow: Maska, 2017. 462 p. (rus)

17. Baranov V.Ya., Frolov V.I. Electrokinetic phenomena [Elektrokineticheskie yavleniya]. Tutorial. M.: Federal State Unitary Enterprise "Oil and Gas", Russian State University of Oil and Gas. THEM. Gubkina, 2007. 54 p. (rus)

18. Tumanyan B.P. Scientific and applied aspects of the theory of petroleum dispersed systems [Nauchnye i prikladnye aspekty teorii neftyanyh dispersnyh sistem]. - M.: TUMA GROUP LLC; Publishing House "Tekhnika", 2000. 336 p. (rus)

19. Neiman R.E., Verezhnikov V.N., Kirdeeva A.P.; Neiman R.E., Verezhnikov V.N., Kirdeeva A.P. Workshop on colloidal chemistry (Colloid chemistry of latexes and surfactants) [Praktikum po kolloidnoj himii (Kolloidnaya himiya lateksov i poverhnostno-aktivnyh veshchestv)]: For chemical and technological specialties of universities. Moscow: Higher School Publishing House, 1972. 176 p. (rus)

20. Lefedova O.V., Nemtseva M.P., Vashurin A.S. Basic concepts and definitions of the disciplines "Physical Chemistry" and "Colloid Chemistry" [Osnovnye ponyatiya i opredeleniya disciplin «Fizicheskaya himiya» i «Kolloidnaya himiya»]: textbook. Benefit. Ivanovo: Ivan. state chemical-technological un-t, 2017. 109 p. (rus)

21. Unger F.G. Nanosystems, disperse systems, quantum mechanics, spin chemistry [Nanosistemy, dispersnye sistemy, kvantovaya mekhanika, spinovaya himiya]. Tomsk: TML-Press, 2010. 259 p. (rus)

22. Lesin V.I., Koksharov Yu.A., Khomutov G.B. Magnetic nanoparticles in oil. Petrochemistry [Magnitnye nanochasticy v nefti. Neftekhimiya]. 2010. Vol. 50, No. 2. Pp. 114–117. (rus)

23. Yen T.F. Structures and dynamics of asphaltenes. New York.: Plenum Press, 1998. 450 p.

24. Mukhametzhanov I.Z. Structuring in the liquid phase and phase transitions during the thermolysis of oil residues [Strukturirovanie v zhidkoj faze i fazovye perekhody pri termolize neftyanyh ostatkov]: Abstract of the thesis. dis. ... cand. tech. Sciences. Ufa: UNI, 1990. (rus)
25. Kulikov D.V., Mekalova N.V., Zakirnichnaya M.M. The physical nature of destruction [Fizicheskaya priroda razrusheniya]: Textbook, manual for universities. Ed. ed. I.R. Kuzeev. Ufa.: UGNTU, 1999. 396 p. (rus)
26. Sukhovilo N.P., Tkachev S.M., Oshchepkova N.V. Study of the supramolecular structure of road bitumen [Izuchenie nadmolekulyarnoy struktury dorozhnyh bitumov]. Bulletin of the Polotsk State University. university Ser. C. Fundamental sciences. 2004. No. 4. Pp. 62–68. (rus)
27. Kuzeev I.R., Abyzgil'din Yu.M., Mukhametzhanov I.Z. Phase transitions in petroleum systems during thermolysis with the formation of a solid carbonaceous substance [Fazovye perekhody v neftyanyh sistemah pri termolize s obrazovaniem tverdogo uglerodistogo veshchestva]. Ufa: UGNTU, 1990. 118 p. (rus)
28. Lukashovich V.N., Lukashovich O.D., Moshkin R.I. Influence of production technology on asphaltogenesis in dispersed-reinforced bitumen-mineral compositions [Vliyaniye tekhnologii proizvodstva na asfal'togenez v dispersno-armirovannyh bitumomineral'nyh kompozitsiyah]. Bulletin of TGASU. 2022. Vol. 24. No. 5. Pp. 178–188. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-5-178-188 (rus)
29. Galimova G.A., Yusupova T.N., Ibragimova D.A., Yakupov I.R. Composition, properties, structure and fractions of asphaltenes in petroleum dispersed systems [Sostav, svoystva, struktura i frakcii asfal'tenov neftyanyh dispersnyh sistem]. Bulletin of the Kazan Technological University. 2015. No. 20. Pp. 60–64. (rus)
30. Safieva R.Z. Chemistry of oil and gas. Petroleum dispersed systems: composition and properties [Himiya nefi i gaza. Neftyanye dispersnye sistemy: sostav i svoystva] (part 1): Textbook. M.: Russian State University of Oil and Gas. THEM. Gubkina, 2004. 112 p. (rus)
31. Kuzeev I.R., Samigullin G.Kh., Kulikov D.V., Zakirnichnaya M.M., Mekalova N.V. Complex systems in nature and technology [Slozhnye sistemy v prirode i tekhnike]. Ufa: UGNTU, 1997. 227 p. (rus)
32. Sedghi M., Goual L., Welch W., Kubelka J. Effect of asphaltene structure on association and aggregation using molecular dynamics. J. Phys. Chem. B. 2013. Vol. 117, No. 18. Pp. 5765–5776. DOI:10.1021/jp401584u
33. Goual L., Sedghi M., Wang X., Zhu Z. Asphaltene aggregation and impact of alkylphenols. Langmuir. 2014. No. 30 (19). Pp. 5394–403. DOI:10.1021/la500615k
34. Dunn N.J.H., Gutama B., Noid W.G. Simple Simulation Model for Exploring the Effects of Solvent and Structure on Asphaltene Aggregation. J. Phys. Chem. B. 2019. No. 123 (28). Pp. 6111–6122. DOI:10.1021/acs.jpcc.9b04275
35. Sjöblom J., Simon S., Xu Z. Model molecules mimicking asphaltenes. Adv Colloid Interface Sci. 2015. Vol. 218. Pp. 1–16. DOI:10.1016/j.cis.2015.01.002
36. Torres A., Amaya Suárez J., Remesal E.R., Márquez A.M., Fernández Sanz J., Rincón Cañibano C. Adsorption of prototypical asphaltenes on silica: first-principles DFT simulations including dispersion corrections. J. Phys. Chem. B. 2018. Vol. 122, No. 2. Pp. 618–624. DOI: 10.1021/ACS.JPCB.7B05188
37. Ganeeva Yu.M., Yusupova T.N., Romanov G.V. Structural organization of asphaltenes [Strukturnaya organizatsiya asfal'tenov]. Reports of the Academy of Sciences. 2009. Vol. 426, No. 5. Pp. 629–631. (rus)
38. Shigabutdinov A.K., Presnyakov V.V., Anand V., Novikov M.A. Physico-chemical and technological characteristics of the residue of the combined hydrocracking of tar obtained during the commercial operation of the VCC unit at the KGPTO of TAIFF-NK JSC [Fiziko-himicheskie i tekhnologicheskie harakteristiki ostatka kombinirovannogo gidrokrekinga gudrona, poluchaemogo pri promyshlennoj ekspluatatsii ustanovki VCC na KGPTO AO «TAIFF-NK»]. Bulletin of the Technological University. 2022. Vol. 25, No. 7. Pp. 55–59. DOI:10.55421/1998-7072\_2022\_25\_7\_55 (rus)
39. Korneev D.S., Pevneva G.S., Golovko A.K. Thermal transformations of asphaltenes in heavy oils at a temperature of 120 °C [Termicheskie prevrashcheniya asfal'tenov tyazhelyh neftej pri temperature 120 °C]. Journal of Siberian Federal University. Chemistry. 2019. No. 1. Pp. 101–117. DOI:10.17516/1998-2836-0110 (rus)
40. Kuzeev I.R., Kulikov D.V., Khaibulin A.A. Structural organization of oil pitches [Strukturnaya organizatsiya neftyanyh pekov]. Oil and gas. 1997. No. 4. Pp. 93–101. (rus)
41. Rybachuk N.A. Bituminous binder aging [Starenie bitumnogo vyazhushchego]. Bulletin of ISTU. 2015. No. 2 (97). Pp. 120–125. (rus)
42. Skripkin A.D., Starkov G.B., Kolesnik D.A. Evaluation of bitumen aging in thin films using the thin chromatography analyzer "Iatroscan Mk-5" [Ocenka stareniya bituma v tonkih plenkah s primeneniem analizatora tonkoj hromatografii «Iatroscan Mk-5»]. Bulletin of KhNADU. 2008. No. 40. Pp. 32–35. (rus)

43. Musina N.S., Maryutina T.A. Application of magnetic treatment to change the composition and physical and chemical properties of oil and oil products [Primenenie magnitnoy obrabotki dlya izmeneniya sostava i fiziko-himicheskikh svoystv nefiti i nefteproduktov]. *Journal of Analytical Chemistry*. 2016. Vol. 71, No. 1. Pp. 29–36. DOI:10.7868/S0044450216010096 (rus)
44. Anufriev R.V., Volkova G.I. Influence of ultrasound on the structural and mechanical properties of oils and the process of sedimentation [Vliyanie ul'trazvuka na strukturno-mekhanicheskie svoystva neftej i process osadkoobrazovaniya]. *Izvestiya TPU*. 2016. Vol. 327, No. 10. Pp. 50–58. (rus)
45. Belyaev K.V., Chulkova I.L. Modification of bitumen with carbon black [Modifikatsiya bituma tekhnicheskim uglerodom]. *Bulletin of SibADI*. 2019. Vol. 16, No. 4 (68). Pp. 472–484. (rus)
46. Ilyin S.O., Arinina M.P., Mamulat Yu.S., Malkin A.Ya., Kulichikhin V.G. Rheological properties of road bitumens modified with polymeric and nanosized solid additives [Reologicheskie svoystva dorozhnykh bitumov, modifitsirovannykh polimernymi i nanorazmernymi tverdymi dobavkami]. *Colloid journal*. 2014. Vol. 76, No. 4. Pp. 461–471. DOI: 10.7868/S0023291214040053 (rus)
47. Galeev R., Abdrakhmanova L., Nizamov R. Nanomodified organic-inorganic polymeric binders for polymer building materials. *Solid State Phenomena*. 2018 Vol. 276. Pp. 223–228 DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.276.223
48. Shekhovtsova S.Yu., Vysotskaya M.A. Influence of carbon nanotubes on the properties of PMB and asphalt concrete [Vliyanie uglerodnykh nanotrubok na svoystva PBV i asfal'tobetona]. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 11. Pp. 110–119. (rus)
49. Boyar S.V., Kopytov M.A. Structural and group characteristics of resins and asphaltenes isolated from thermolysis products of a mixture of petroleum residue and sunflower oil [Strukturno-gruppovyye harakteristiki smol i asfal'tenov, vydelenykh iz produktov termoliza smesi neftyanogo ostatka i podsolnechnogo masla]. *Bashkir Chemical Journal*. 2021. Vol. 28, No. 3. Pp. 58–64. DOI:10.17122/bcj-2021-3-58-64 (rus)
50. Loskutova Yu.V., Yudina N.V. Influence of the magnetic field on the structural and rheological properties of oils [Vliyanie magnitnogo polya na strukturno-reologicheskie svoystva neftej]. *Izvestiya TPU*. 2006. No. 4. Pp. 104–109. (rus)
51. Mullakaev M.S., Abramov V.O., Volkova G.I., Prozorova I.V., Yudina N.V. Investigation of the influence of ultrasonic exposure and chemical reagents on the rheological properties of viscous oils [Issledovanie vliyaniya ul'trazvukovogo vozdeystviya i himicheskikh reagentov na reologicheskie svoystva vyazkikh neftej]. *Equipment and technologies for the oil and gas complex*. 2010. No. 5. Pp. 31–34. (rus)
52. Volkova G.I., Anufriev R.V., Yudina N.V. Influence of ultrasonic treatment on the composition and properties of paraffinic highly resinous oil [Vliyanie ul'trazvukovoy obrabotki na sostav i svoystva parafinistoj vysokosmolistoj nefiti]. *Petrochemistry*. 2016. Vol. 56, No. 5. Pp. 454–460. DOI:10.7868/S0028242116050208 (rus)
53. Shestakov N.I., Urkhanova L.A., Buyantuev S.L., Semenov A.P., Smirnyagina N.N. Asphalt concrete using carbon nanomodifiers [Asfal'tobeton s ispol'zovaniem uglerodnykh nanomodifikatorov]. *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*. 2015. No. 6. Pp. 131–139. (rus)
54. Inozemtsev S.S., Korolev E.V. Development of nanomodifiers and study of their influence on the properties of bituminous binders [Razrabotka nanomodifikatorov i issledovanie ih vliyaniya na svoystva bitumnykh vyazhushchih veshchestv]. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 10. Pp. 131–139. (rus)
55. Begieva M.B., Soblirova A.A., Blashev A.V., Amshokova D.B., Kharaev A.M. Organoclay Modified with n,N-diallylaminoisopentanoic acid and study of its structure [Organoglina modifitsirovannaya n,N-diallilaminoizopentanovoj kislotoj i issledovanie ee struktury]. *Technical sciences – from theory to practice*. 2016. No. 5-2 (53). Pp. 18–24. (rus)
56. Loganina V. I., Petukhova N. A. Improving the durability of polystyrene paints when an organomineral additive is introduced into the formulation [Povyshenie stojkosti polistirolnykh krasok pri vvedenii v recepturu organomineral'noj dobavki]. *VEZHPT* 2013. No. 6 (63). Pp. 21–26. (rus)
57. Loganina V.I., Akzhigitova E.R., Fadeeva G.D. Dry building mixes using local materials of the Penza region [Suhie stroitel'nye smesi s primeneniem mestnykh materialov Penzenskogo regiona]. *Engineering and Construction Journal*. 2012. No. 8. Pp. 37–41. (rus)
58. Bulanov P.E. Mavliev L.F., Vdovin E.A., Yagund E.M. The interaction between the kaolinite or bentonite clay and plasticizing surface-Active agents. *Mag. Civ. Eng.* 2017 Vol. 75. No. 7. Pp. 171–179. DOI:10.18720/MCE.75.17
59. Perelomov L.V., Atroshchenko Yu.M., Minkina T.M. Perelomova I.V., Bauer T.V., Pinsky D.L. Organoclays are a new class of promising sorbents for the remediation of chemically polluted environmental objects [Organogliny – novyy klass perspektivnykh sorbentov dlya remediacii himicheskii zagryaznennykh ob'ektov okruzhayushchej sredy]. *Agrochemistry*. 2021. No. 8. Pp. 82–96. DOI: 10.31857/S0002188121080111 (rus)

60. Kindeev O.N., Lashin M.V., Kurlykina A.V. Study of the influence of the rheological additive "Viscogel" on the wetting angle of bitumen [Issledovanie vliyaniya reologicheskoy dobavki «Viscogel» na kraevoy ugol smachivaniya bituma]. International scientific and technical conference of young scientists of BSTU. V.G. Shukhov dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences: Collection of reports of the National Conference with international participation, Belgorod, May 18–20, 2022. Volume Part 9. Belgorod: Belgorod State Technological University. V.G. Shukhova, 2022, Pp. 113–118. (rus)

61. Helal E., Sherif E., Alaa. G., Saaid Z. Evaluation of asphalt enhanced with locally made nanomaterials. *Nanotechnologies in Construction*. 2016. Vol. 8. No. 4. DOI:dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-4-42-67

62. Sarsam S. Improving Asphalt Cement Properties by Digestion with Nano Materials. *Research*

and Application of Material Journal, (RAM), 2013. Vol. 1(6). Pp. 61–64. DOI:10.12966/ram.09.01.2013

63. Arkhipov V.A., Paleev D.Yu., Patrakov Yu.F., Usanina A.S. Determination of the contact angle of wetting of a coal surface [Opredelenie kraevogo ugla smachivaniya ugol'noj poverhnosti]. *Physico-technical problems of mineral development*. 2011. No. 5. Pp. 22–27. (rus)

64. Abdullin A. I., Emelyanycheva E. A., Diyarov I. N. Evaluation of bitumen adhesion to mineral material in asphalt concrete based on its wetting properties [Ocenka adhezii bituma k mineral'nomu materialu v asfal'tobetone na osnove ego smachivayushchih svoystv]. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2009. No. 4. Pp. 256–259. (rus)

65. Huchenreuter Yu., Werner T. Asphalt in road construction [Asfal't v dorozhnom stroitel'stve]. M.: Publishing house "ABV-press", 2013. 450 p. (rus)

#### *Information about the authors*

**Vysotskaya, Marina A.** PhD, Assistant professor. E-mail: roruri@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Kindeev, Oleg N.** Postgraduate student. E-mail: kindeev.o@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Kurlykina, Anastasia V.** Postgraduate student. E-mail: anastasiyakurlikina@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Kabalin, Maxim D.** PhD. E-mail: Maksipit13@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

*Received 09.02.2023*

#### **Для цитирования:**

Высоцкая М.А., Киндеев О.Н., Курлыкина А.В., Кабалин М.Д. Добавка на основе органоглин – как инструмент регулирования реологических свойств битума // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 19–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-19-34

#### **For citation:**

Vysotskaya M.A., Kindeev O.N., Kurlykina A.V., Kabalin M.D. Organoclay based additive as a tool for control of rheological properties of bitumen. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2023. No. 5. Pp. 19–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-19-34