

УДК 625.85.32

## МОДИФИКАЦИЯ БИТУМА ТЕХНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ

К.В. Беляев\*, И.Л. Чулкова  
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,  
Россия, г. Омск  
\*bkv775@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Известно, что причинами преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий являются старение и невысокое качество выпускаемых битумов. В статье рассмотрены применяемые способы улучшения свойств битума. Произведён обзор результатов модификации битума с помощью технического углерода. Показано, что введение технического углерода приводит к структурным изменениям в битуме. На основании проведённого обзора в качестве перспективных модификаторов выделены добавки на основе технического углерода.

**Материалы и методы.** Приведены характеристики применяемых углеродных модификаторов и свойства исходного битума.

**Результаты.** Экспериментально определены основные показатели модифицированного битума. Произведено сравнение влияния трёх добавок технического углерода на свойства битума. Введение активированного технического углерода снижает пенетрацию битума значительно, чем введение неактивированного, однако при этом ухудшаются показатели старения.

**Обсуждение и заключение.** Установлено, что введением твёрдой добавки можно увеличить вязкость битума при сохранении других характеристик, требуемых стандартами, и таким образом улучшить его тепловую устойчивость. Введение активированного технического углерода в сухом виде не оказывает существенного положительного влияния на свойства битума, в отличие от сортового углерода марки №375.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** битум, наноматериалы, модификаторы, технический углерод, асфальтобетон.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Авторы благодарят разработчиков добавок О.Н. Бакланову и О.А. Княжевву, работников Института проблем переработки углеводородов СО РАН, г. Омск.

© К.В. Беляев, И.Л. Чулкова



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## CARBON MODIFICATION OF BITUMEN

**K.V. Belyaev\*, I. L. Chulkova**

*Siberian State Automobile and Highway University,  
Omsk, Russia*

*\*bkv775@mail.ru*

### ABSTRACT

**Introduction.** The causes of premature destruction of asphalt concrete coatings are aging and low quality of bitumen. The paper describes the methods for improving the bitumen properties. The authors present the review of the bitumen modification by carbon black usage. The usage of carbon black leads to structural changes in the bitumen. Therefore, the authors select carbon black additives as a promising modifiers.

**Materials and methods.** The paper showed the characteristics of carbon modifiers and the properties of the initial bitumen.

**Results.** The authors experimentally determined the main parameters of the modified bitumen and compared the effect of three carbon black additives on the bitumen properties. The usage of activated carbon black significantly reduced the penetration of bitumen than non-activated carbon black, however, the indicators of aging were declined.

**Discussion and conclusions.** As a result, the solid additive's usage increases the bitumen viscosity with other standard characteristics' preservation, and thus improves the bitumen thermal stability. Therefore, the usage of activated carbon black in dry forms does not affect significantly on the bitumen properties in comparison with varietal N 375 grade-carbon.

**KEYWORDS:** bitumen, nanomaterials, modifiers, carbon black, asphalt concrete.

**ACKNOWLEDGEMENTS.** The authors express their gratitude to the developers of additives, O.N. Baklanov and O.A. Knyazeva, and also to employees of the Institute of Hydrocarbons' Processing Problems in the Siberian Department of the Russian Academy of Science, Omsk.

© K.V. Belyaev, I. L. Chulkova



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

### ВВЕДЕНИЕ

Асфальтобетонные покрытия широко применяются в России и многих других странах. Качество их строительства во многом определяют не только удобство и комфорт в эксплуатации, но и долговечность всей автомобильной дороги. Важнейшим компонентом асфальтобетона, определяющим многие его показатели, является вяжущий материал – битум<sup>1, 2</sup>.

От свойств битума зависят устойчивость покрытия к погодным условиям, прочность, долговечность и т.д. Направленным регулированием свойств битума можно добиться значительного улучшения срока службы покрытий.

В нашей стране применяются преимущественно окисленные битумы, для которых характерны низкая долговечность и температурная устойчивость [1]. Изначально низкий ресурс срока службы вяжущих создаёт серьёзные проблемы в дорожной отрасли, снижая долговечность построенных автомобильных дорог и требует новых, перспективных подходов к улучшению свойств битумов с учётом современного уровня развития науки.

Основной причиной разрушения покрытий при условии соблюдения технологии строительства является нарушение структурных связей между компонентами асфальтобетона в результате изменения свойств битума в процессе эксплуатации. Под действием нагрузок, окисления, полимеризационных процессов на поверхности битума и т.д. происходят его старение и разрушение структуры<sup>3</sup>.

При рассмотрении структуры битума его состав делят на группы (асфальтены, смолы и масла), из которых образуются молекулярные ассоциаты, также называемые самостоятельными структурными единицами (ССЕ). К наиболее крупным ССЕ относят асфальтены. Количество, размер и степень взаимодействия ассоциатов определяют прочность и реологические свойства вяжущего. Рентгеновскими исследованиями установлено, что в нефтепродуктах присутствуют частицы размером от 2,3 до 12 нм<sup>4</sup>.

В процессе старения меняется химический и групповой составы битума, уменьшается его

способность к релаксации напряжений. Силы адгезии между минеральным заполнителем и вяжущим ослабевают, и под действием нагрузок в асфальтобетонном покрытии начинают появляться различные дефекты – трещины, шелушения, выкрашивание щебня и др. Таким образом, можно сказать, что из всех компонентов асфальтобетона именно битум определяет долговечность покрытия.

Наблюдения за состоянием асфальтобетонных покрытий показывают, что в последние десятилетия их срок службы значительно сократился [1]. Восстановить баланс между возросшей нагрузкой на дороги и качеством производимого битума можно с помощью модификации битумов. Для этого необходимо создать такую структуру вяжущего материала, которая будет более устойчива к внешним нагрузкам и более долговечна (обладать меньшей склонностью к старению).

Улучшение свойств битумов производится по двум основным направлениям: компаундирование на стадии производства и модификация на стадии выпуска товарной продукции [2, 3].

Компаундирование представляет собой вторичный процесс переработки битумов, который производят чаще всего на нефтеперерабатывающих заводах.

Модифицированными называют битумы, улучшенные добавками определенных веществ (полимерами, резиновой крошкой, серой, адгезионными добавками и др.). Цель модификации заключается не только в соответствии битума требованиям ГОСТа, но и в улучшении его свойств путём снижения температурной чувствительности вяжущего, т.е. увеличении его твердости летом и уменьшении зимой, а также придании вяжущему эластичности – способности к обратимым деформациям во всем диапазоне эксплуатационных температур. В результате модификации вяжущего асфальтобетон приобретает повышенную сдвигоустойчивость, низкотемпературную трещиностойкость и усталостную долговечность.

Для модифицирования битумов применяют самые различные добавки: разжижающие,

<sup>1</sup> Гезенцев Л.Б., Горелышев Н.В., Богуславский А.М., Королёв И.В. Дорожный асфальтобетон. М. : Транспорт, 1985. 350 с.

<sup>2</sup> Колбановская А. С., Михайлов В. В. Дорожные битумы. М. : Транспорт, 1973. 261 с.

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> Дияров И.Н., Батуева И.Ю., Садыков А.Н., Солодова Н.Л. Химия нефти. Л. : Химия, 1990. 240 с.

пластифицирующие, структурирующе-пластифицирующие, адгезионные, адгезионно-структурирующие, структурирующие, эмульгаторы и т.д.

Существенным недостатком многих модификаторов является технология их введения, требующая длительного перемешивания при высокой температуре (1,5...2 ч при температуре 140–160 °С). Применяемые модификаторы (приведены на рисунке 1) отличаются между собой составом, размером и механизмом действия. Некоторые добавки существенно отличаются по своему химическому составу от битума – например, добавки золя гидроокиси железа [4].

Физический метод улучшения битума осуществляется с помощью СВЧ-активации, ультразвуковой обработкой, воздействиями магнитного, акустического или электромагнитного полей, кавитацией и т.д.

В работе [5] перед формованием образцов битум подвергался СВЧ-излучению, в течение от 30 с до 4 мин. По результатам опытов установлена зависимость улучшения адгезии битума из-за процессов окисления, происходящих под действием волн сверхвысоких частот.

В г. Харькове под руководством В.А. Золотарёва<sup>5</sup> [6] производилась ультразвуковая обработка битума. В результате экспериментов установлено, что при ультразвуковом воздействии происходит снижение вязкости битума, диспергирование частиц, находящихся в зоне действия ультразвука, повышение однородности материала, ускорение или инициирование реакций взаимодействия между контактирующими фазами. Управление воздействием ультразвука, таким образом, позволяет направленно изменять свойства обрабатываемого битума в зависимости от режимов нагружения.

В работе [7] предлагается воздействовать на углеводородное сырьё магнитным полем на стадии получения битума, что позволяет интенсифицировать процессы переработки, однако этот способ пока не нашёл широкого применения из-за сложности оборудования и не позволяет модифицировать битум небольшими партиями по требованию заказчика.

К общим недостаткам применения физических способов модификации битумов можно отнести необходимость сложного технологического оборудования, увеличения продол-



Рисунок 1 – Основные способы модификации битумов  
Figure 1 – Main methods of bitumen modification

жительности подготовки битума, повышение энергозатрат и капитальных вложений.

Частично этих недостатков лишены методы модификации битума, основанные на химических способах.

Рядом исследований<sup>6</sup> [8, 9, 10, 11] установлено, что значительное влияние на результат введения добавок оказывает размер их частиц. Уменьшение размера добавок до наночастиц позволяет получить качественно новые свойства вяжущего материала. Размеры наночастиц занимают промежуточное значение в ряду при переходе от кристаллов к отдельным молекулам и атомам, которые определяют их особые свойства по сравнению с кристаллами, молекулами и атомами.

С позиции закона сродства структур материалов [12] модификатор по своему химическому составу должен быть близок к химическому составу битума. С позиции улучшения свойств модификатор должен обладать сходными размерами с теми компонентами битума, которые в наибольшей степени определяют его свойства. Материалом, удовлетворяющим этим требованиям, является технический углерод (ТУ).

Технический углерод представляет собой тонкодисперсное порошкообразное вещество,

<sup>5</sup> Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Харьков : Вища школа, 1977. 116 с.

<sup>6</sup> Запорожцова И.В. Углеродные и неуглеродные наноматериалы и композитные структуры на их основе. Волгоград : Изд-во ВолГУ. 2009. 490 с.

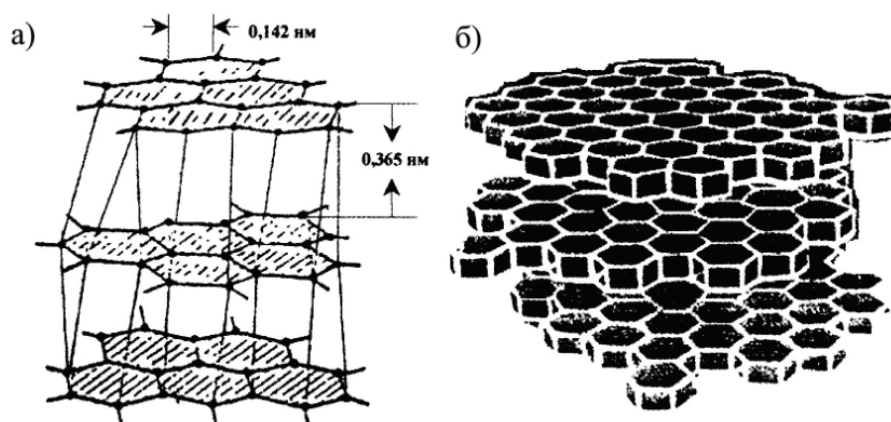


Рисунок 2 – Структура частиц технического углерода:  
а – расположение углеродных решеток в кристаллите;  
б – плоская углеродная решетка кристаллита

Figure 2 – Structure of carbon black particles:  
a – carbon lattices in the crystallite;  
b – flat carbon crystallite lattice

состоящее из углерода, получаемого сжиганием или термическим разложением газообразных или жидких углеводородов. Основным потребителем технического углерода является шинная промышленность – 70% производимого углерода, около 20% расходуется на изготовление других резиновых изделий и 10% применяется в областях, не связанных с резиной. Объем производства ТУ в мире превышает 7 млн т в год. Потребность в техническом углероде обусловлена его свойствами, усиливающими прочность резин и снижающими их старение.

Влияние техуглерода на модифицируемую среду зависит от размера, формы, свойств поверхности [13] и наличия на ней функциональных групп. Методом дифракции рентгеновских лучей установлено, что структурными элементами частиц технического углерода являются плоские кристаллические решетки (рисунок 2, а). Они состоят из шестичленных углеродных циклов (аналогичных бензольным по расположению углеродных атомов). Атомы углерода образуют слои сконденсированных кольцеобразных систем с межатомным расстоянием 0,142 нм. Эти слои (решетки) располагаются

параллельно на строго определенном расстоянии, равном 0,365 нм. Частицы технического углерода состоят из отдельных первичных образований – кристаллитов (рисунок 2, б).

Таким образом, частицы технического углерода обладают размерностью, относительно близкой к размерам асфальтенов. Частицы серийно производимого технического углерода представляют собой сферические глобулы и обладают большой удельной поверхностью.

Поэтому при смешивании частиц ТУ с битумом на его поверхности формируется слой, образованный из масел и смол, образуя структуру в виде «ежа»<sup>7</sup>, а также заполняются пустоты. Результатом является перераспределение компонентов битума между ССЕ и образование новых ассоциатов. Образование дополнительных дисперсных частиц усиливает матрицу материала, повышаются вязкость и прочность. Кроме того, связывая лёгкие компоненты битума, ТУ замедляет процессы старения.

В литературе приводятся положительные результаты применения ТУ для модификации битума [8, 14, 15], однако не всегда указываются марка и свойства ТУ, из-за чего сложно анализировать его воздействие на битумы.

<sup>7</sup> Запороцкова И.В. Углеродные и неуглеродные наноматериалы и композитные структуры на их основе. Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2009. 490 с.



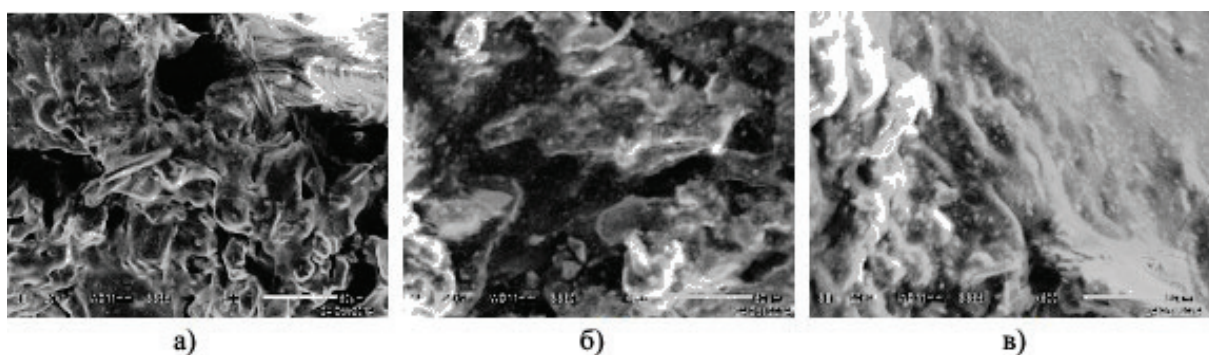


Рисунок 3 – Электронно-микроскопический анализ модифицированного асфальтобетона:  
а – бездобавочный асфальтобетон; б – битум + 0,05 масс.% УНМ; в – битум + 0,1 масс.% УНМ

Figure 3 – Electron microscopic analysis of modified asphalt concrete:  
a – non-additive asphalt concrete; b – bitumen + 0.05 wt.% CNM;  
c – bitumen + 0.1 mass.% CNM

В работе Н.И. Шестакова<sup>8</sup> битум модифицировали углеродными наномодификаторами (УНМ). Опытным путём установили оптимальное содержание добавки в 0,1% от количества битума. При таком содержании углерода происходит расширение интервала пластичности битума, при высоких температурах уменьшается пенетрация. Введение добавки повышает прочность асфальтобетона при 50°C на 58% для фуллеренсодержащего модификатора (ФСМ) и на 46% для фуллеренсодержащей сажи (ФСС).

Электронно-микроскопический анализ проб асфальтобетона [4] показал изменение структуры при модификации (рисунок 3).

По микрофотографиям образцов поверхности битума видно, что при введении УНМ структура материала становится более плотной. Это подтверждает предположение о том, что при введении и повышении концентрации добавки в составе битума возрастает количество ассоциатов и, следовательно, рост плотности образования полимерной матрицы, что в свою очередь и повышает прочностные характеристики.

Авторы [8] исследовали влияние введения углеродной добавки таунит в сочетании с различными наполнителями (древесная пыль, керамзит и др.) в битум при изготовлении мастик. Установлено, что введение наполнителя как армирующего элемента увеличивает проч-

ность материала. Наличие таунита незначительно повышает температуру размягчения для горячих мастик – на 0,5°C, для холодных – на 1,5...2°C. В целом физические, теплотехнические и механические характеристики битумных мастик улучшились на 2...5%.

В исследованиях [16] производилась модификация битума БНД 60/90 различными добавками – 4% технического углерода, 0,4% поверхностно-активного вещества КАДЭМ-ВТ, 5,5% регранулята полимера этилен-пропилена (РПЭП). Введение РПЭП и ТУ повышает длительную трещиностойкость асфальтобетона на 25 и 20% соответственно после 6 циклов климатического воздействия. Сравнение между тремя добавками – техническим углеродом, КАДЭМ-ВТ и РПЭП – показало, что техуглерод замедляет старение битума значительно больше других.

Коллективом ученых СибАДИ [17] проводились исследования по улучшению свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона добавками отходов производства технического углерода. Авторы делают вывод о возможности повышения прочности и плотности щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе модифицированного вяжущего материала.

В работе [14] произведено сравнение влияния технического углерода, полученного после утилизации шин, и модифицированного техуглерода (окисленного). Битум марки БНД 90/130 модифицировали перемешиванием с

<sup>8</sup> Урханова Л.А. и др. Улучшение свойств битума и асфальтобетона введением углеродного наномодификатора // Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова «Наукоёмкие технологии и инновации». Белгород, 2014. С. 391–398.

ТУ при температуре 120 °С, в течение 40 мин. О способе введения ТУ (в сухом виде или с помощью носителя) авторы, к сожалению, не упоминают.

Согласно полученным данным, с увеличением объёма добавки для обоих модификаторов происходят увеличение температуры размягчения и снижение пенетрации. Для вяжущего с модифицированным ТУ температура размягчения увеличивается больше, чем с добавкой ТУ. С увеличением количества добавок значение дуктильности вяжущего увеличивается. Результаты определения адгезии полученного битума к каменному материалу показывают, что при добавлении ТУ до 3% масс улучшается адгезия.

В работе [15] для повышения сдвигоустойчивости асфальтобетона предлагается добавлять технический углерод в количестве 5% от содержания битума. Однако автор не приводит сведений о марке применяемого углерода, его свойствах и технологии модификации.

Обобщая рассмотренные результаты, можно заметить следующее:

1. Количество вводимого углерода у разных исследователей значительно отличается.

2. Авторы не приводят полные данные о методике модификации, отсутствует исчерпывающая информация о применяемых материалах.

Научная новизна работы заключается в результатах исследования процессов, происходящих при модификации битума техническим углеродом.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Целью работы является исследование влияния технического углерода различных видов и размеров на свойства битума. В связи со значительной трудоёмкостью проводимых экспериментов в работе определены основные свойства битума по стандартным методикам.

В качестве исходного использовался битум марки БНД 70/100 производства АО «Газпромнефть - Омский НПЗ». Перед модификацией битум был проверен на соответствие требованиям ГОСТ 33133–2014. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

В качестве добавок в работе использовали печной технический углерод марки N375, произведенный на предприятии ОАО «Омсктехуглерод», и образцы активированного технического углерода №41с и №42с (далее добавки №375, №41с и №42с), полученные на основе марки №375 и предоставленные разработчиками этих добавок О.Н. Баклановой и О.А. Княжевой – работниками Института проблем переработки углеводородов СО РАН г. Омск [18]. Характеристика марки N375 приведена в таблице 2. Активацию добавок проводили механическим путём на планетарной мельнице [18]. В результате помола на поверхности углерода добавки №41с увеличилось количество кислородсодержащих групп до 0,34 мэкв/г. Добавка №42с представлена с увеличенной длиной углеродной цепи. Размер добавок №41с и №42с определён методом лазерной дифракции. Большая часть агрегатов ТУ после механической активации имеет

Таблица 1  
Свойства исходного битума

Table 1  
Properties of the original bitumen

Показатель	Метод испытания	Нормативные значения по ГОСТ 33133–2014	Фактические значения
Глубина проникания иглы 0,1 мм при температуре 25 °С	ГОСТ 33136-2014	70/100	92
Глубина проникания иглы 0,1 мм при температуре 0 °С	ГОСТ 33136-2014	Не менее 21	52
Растяжимость, см, при температуре 25 °С	ГОСТ 33138-2014	Не менее 62	80,5
Температура размягчения по КиШ, °С	ГОСТ 33142-2014	Не ниже 47	50
Температура хрупкости, °С	ГОСТ 33143-2014	Не выше -18	- 22
Изменение массы образца после старения, %, не более	ГОСТ 18180-72	0,6	0,51
Изменение температуры размягчения после старения, 0 °С, не более	ГОСТ 18180-72	7	1,6

Таблица 2  
Физико-химические показатели технического углерода марки n375

Table 2  
Physic and chemical characteristics of n375 mark carbon black

№	Показатель	Значение
1	Удельная геометрическая поверхность, м²/г	96
2	Абсорбция дибутилфталата, см³/100г	87
3	pH водной суспензии	6 – 8
4	Содержание золы, % мас	0,22
5	Насыпная плотность, кг/м³	280
6	Количество кислородсодержащих групп, мэкв/г	0,12
7	Массовая доля остатка, %, после просева через сито с сеткой: 0,045 мм 0,5 мм	0,001 0,08
8	Массовая доля пыли (мелких частиц) в гранулированном углероде, %	7,0

размер частиц менее 1 мкм, а остальная часть представлена агрегатами с размерами 1–4 мкм [18].

Модификацию битума проводили следующим образом. В металлический стакан загружали определённый объём битума и нагревали его до температуры 120–140 °С. Когда битум расплавлялся, в него добавляли необходимый объём технического углерода, и мик-

сером перемешивали в течение 40 мин. После этого определяли основные характеристики по ГОСТ 33133–2014. Результаты экспериментов представлены на рисунках 4–5.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Все добавки вводили от 0,05 до 1,5% от массы битума. Исследование пенетрации проводили при 25 и 0 °С (рисунок 4).

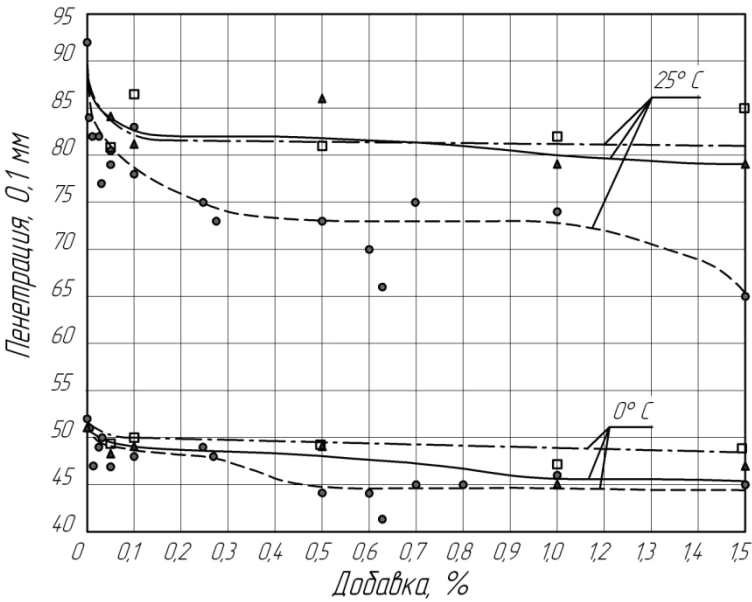


Рисунок 4 – Влияние добавки технического углерода на пенетрацию битума:  
— добавка №375;  
- - - - - добавка 41C;  
- . - . - . - добавка 42C

Figure 4 – Effect of carbon black additive on the bitumen penetration:  
— additive №375;  
- - - - - additive 41C;  
- . - . - . - additive 42C



Установлено, что введение добавок №375 и №42с в количестве 0,15% снижает пенетрацию при 25 °С на 11%. При увеличении концентрации этих добавок с 0,15 до 1,5% пенетрация уменьшается незначительно – на 2,5%. При 0 °С пенетрация для №375 более активно снижается (на 9%), введение №375 от 0,1 до 1,5 % снижает пенетрацию незначительно.

Вязкость битума с добавкой №41с изменяется ступенчато: в диапазоне концентрации добавки от 0 до 0,3% пенетрация при 25 °С упала на 20%, в диапазоне 0,3...1,0% осталась стабильной, с увеличением от 1 до 1,5% снизилась ещё на 12%.

При 0 °С концентрация трёх добавок до 0,3% не оказывает значительного воздействия. Введение от 0,3 до 0,5% снижает пенетрацию битума с добавкой №41с на 7%, после чего увеличение объёма добавки не оказывает влияния. Добавка №42с линейно снижает пенетрацию битума на 5% при увеличении концентрации от 0 до 1,5%. При введении до 1,5% добавки №375 пенетрация линейно снижается на 12%. Значения пенетрации с объёмом добавок 1,5% №375 или №41с практически одинаковы.

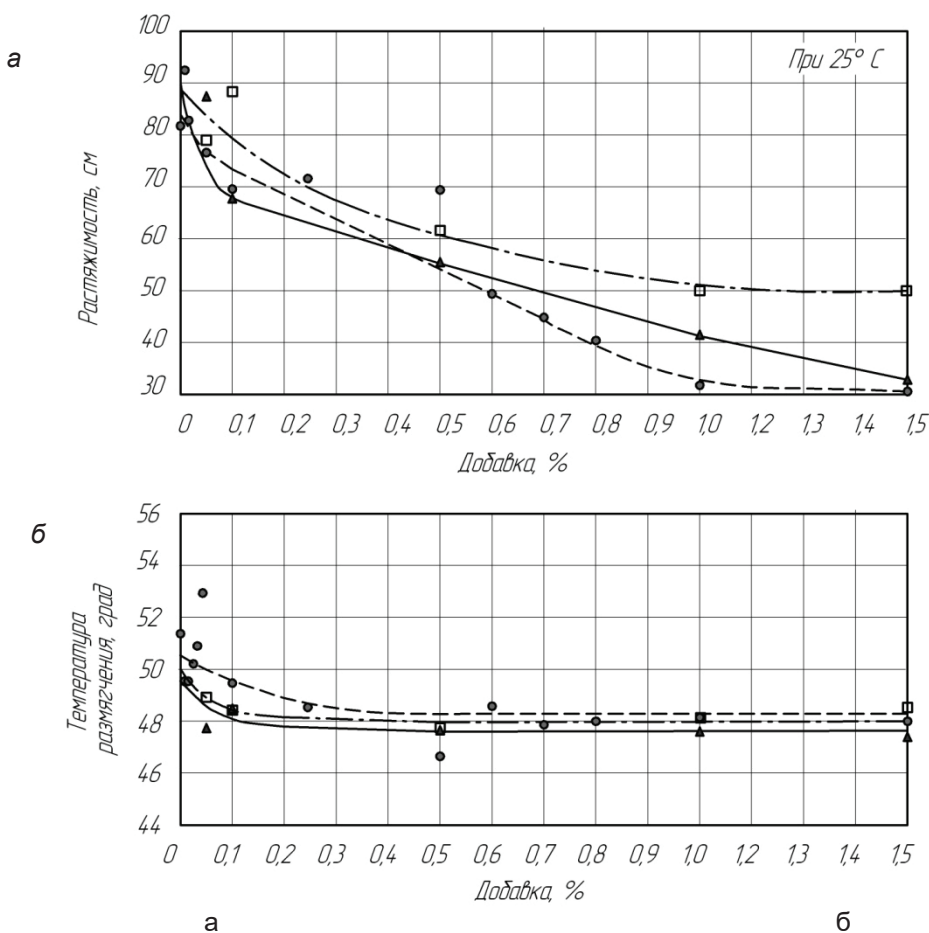


Рисунок 5 – Влияние добавки технического углерода:  
а – на растяжимость битума; б – на температуру размягчения битума;

— добавка №375;  
- - - - - добавка 41с;  
- . - . - . - добавка 42с

Figure 5 – Effect of carbon black additive:  
а – on a stretch of bitumen; б – softening point of bitumen;

— additive №375;  
- - - - - additive 41C;  
- . - . - . - additive 42C

Таблица 3  
Результаты исследования старения битума

Table 3  
Results of the bitumen aging research

Название добавки	Количество добавки, %	Уменьшение массы, %	Температура размягчения после старения, °C
Без добавки	0	0,51	48,4
№375	0,3	0,54	52,0
№41с	0,3	1,57	50,0
№42с	0,3	0,73	48,4
№375	1,0	0,69	48,5

Растяжимость битума (рисунок 5, а) наиболее интенсивно уменьшается (на 10%) при введении добавок №41с и №42с в диапазоне 0...0,2%.

Снижение дуктильности битума с добавками №375 и №42с носит равномерный спадающий характер. При этом битум с добавкой №375 снижает растяжимость на 10% больше, чем с добавкой №42с для концентраций 0,1...0,85%, после чего разрыв увеличивается до 36% при увлечении концентрации до 1,5%.

Увеличение концентрации углерода наиболее активно снижает растяжимость битума с добавкой №41с при введении более 0,5%.

Добавки №375 и №41с в количестве 1,5% снижают растяжимость битума на 63%. Растяжимость при введении 1,5% добавки №42с снизилась на 38%.

Температуру размягчения определяли по методу «кольцо и шар» (КиШ). При концентрации добавок от 0 до 0,2% температура размягчения для всех составов снизилась на 4%, после чего практически не менялась (рисунок 6, б).

При исследовании влияния рассмотренных добавок на старение битума определяли изменение массы битума после прогрева по ГОСТ 18180–72, а также температуру размягчения после прогрева. Результаты представлены в табл. 3.

После прогрева самые низкие значения уменьшения массы наблюдаются у вяжущего с добавкой №41с – потеря массы больше, чем у исходного битума почти в три раза. Немного лучше выглядит образец битума с добавкой

№42с – потеря массы составила на 43% больше в сравнении с исходным. У битума с добавкой №375 масса уменьшилась практически так же, как у исходного битума.

Проверка изменения температуры размягчения битума после прогрева показала, что этот показатель увеличился после введения добавки №375 в количестве 0,3% на 2 °C в сравнении с исходным битумом. У остальных образцов температура размягчения битума после прогрева уменьшилась, но не вышла за пределы, требуемые ГОСТ 33133–2014.

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Введение добавки №41с увеличивает вязкость битума при 25 °C значительно, чем добавка №375. При концентрации ТУ от 0 до 0,3% разница в пенетрации увеличивается, с ростом концентрации добавки разница пенетрации составляет около 12%.

При введении добавок в битум в диапазоне 0,2...0,5% дуктильность выше у вяжущего с добавкой №41с. При введении добавки 0,6% и выше дуктильность выше у вяжущего с добавкой марки №42с. Дуктильность характеризует пластические свойства битумов, носителем которых являются смолы. С увеличением концентрации добавок молекулы смол начинают присоединяться к новым ассоциатам и вяжущее теряет свою пластичность.

Исследования битумов<sup>9</sup> показали, что битумы, имеющие высокие значения дуктильности, могут не сохранить её в процессе эксплуатации. И наоборот, битумы имевшие

<sup>9</sup> Руденская И. М., Руденский А. В. Органические вяжущие для дорожного строительства. М. : Транспорт, 1984. 229 с.

значение дуктильности ниже требуемого ГОСТом, сохраняли его в течение срока службы асфальтобетонного покрытия.

Температура размягчения немного выше для вяжущего с добавкой №41с, однако в целом разница между ними невелика.

Разницу более сильного влияния добавки №41с на вязкость битума можно объяснить меньшими размерами частиц. Введение мелких частиц изменяет групповой состав битума, адсорбируя на своей поверхности масла. Вследствие образования новых ассоциатов возрастает вязкость всей системы.

Проверка битума на старение не показала улучшения свойств битума с добавками №41с и №42с. Можно предположить, что технический углерод после его введения адсорбировал на своей поверхности группы углеводородов, обладающих наибольшей адгезией (смолы), выделив из жидкой фазы масла. Поэтому при прогреве они оказались менее связанными и испарялись. Разница в потере массы при введении добавок №41с и №42с объясняется тем, что добавки имеют различные функциональные группы, находящиеся на их поверхности, которые адсорбируют на себя различное количество групп углеводородов.

Для вяжущего с добавкой марки №375, которая имеет меньшую дисперсность из всех добавок, установлено самое высокое значение температуры размягчения битума после прогрева (52° С). В работе [18] установлено, что при увеличении дисперсности технического углерода происходит агрегирование частиц в крупные агломераты. При перемешивании битума с высокодисперсной добавкой происходит агрегация частиц технического углерода и их поверхность не полностью покрыта битумом. По этой причине частицы ТУ добавки марки №375 оказались более полно задействованы после перемешивания. Поскольку образовалось меньшее количество новых ассоциатов, они более равномерно сохранили различные группы углеводородов в процессе нагрева. При этом образовавшиеся ассоциаты обладают большей прочностью (проявилось усиливающее прочность свойство ТУ), что несколько повысило температуру размягчения.

Уменьшение жидкой фазы в составе битума повысило его твердость и, как следствие, привело к увеличению температуры размягчения.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Рациональным количеством добавки следует полагать 0,15...0,3% технического углерода марки №375. В этом случае при относительно небольшом количестве модификатора можно довести пенетрацию до 82 ед. (вместо 92 ед. исходного битума), при этом растяжимость и температура размягчения соответствуют марке БНД 70/100.

2. Установлено, что введение мелкодисперсного технического углерода в сухом виде не оказывает существенного положительного влияния на свойства битума, в отличие от неактивированного углерода добавки №375.

3. Применение добавки №375 не требует дополнительной активации, но при этом позволяет повысить вязкость битума и, следовательно, улучшить его температурную устойчивость в пределах одной марки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуреев, А.А., Коновалов А.А., Самсонов В.В. Состояние и перспективы развития производства дорожных вяжущих материалов в России // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2008. №1. С.12–16.
2. Джумаева О.Н., Солодова Н.Л., Емельянычева Е.А. Основные тенденции производства битумов в России // Вестник технологического университета. Изд-во КНИИТУ. 2015. Т. 18, № 20. С. 132–136.
3. Руденский А.В. Битумные вяжущие улучшенного качества, модифицированные, комплексные, композиционные // Дороги и мосты. 2007. №2. С. 208–214.
4. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Разработка наномодификаторов и исследование их влияния на свойства битумных вяжущих веществ // Вестник МГСУ. 2013. №10. С.131–139.
5. Акимов А.Е., Ядыкина В.В., Гридчин А.М. Применение токов СВЧ для повышения характеристик дорожных битумов // Строительные материалы. 2010. №1. С.12–14.
6. Золотарев В.А., Маляр В.В., Лапченко А.С. Реологические свойства асфальтополимербетонов при динамическом режиме деформирования // Наука и техника в дорожной отрасли. 2008. №1. С.10–13.
7. Пивоварова Н.А. Природа влияния постоянного магнитного поля на нефтяные дисперсные системы // Нефтепереработка и нефтехимия. 2004. №10. С.20–25.
8. Ярцев В.П., Долженкова М.В., Петрова Н.В. Влияние наполнителей и нанодобавок на эксплуатационные свойства композитов

на основе битума // Вестник ТГТУ. 2014. Т. 20. С. 801–809.

9. Жуков М.О., Толчков Ю.Н., Михалева З.А. Исследование возможности применения модификаторов на основе углеродных наноструктур в технологии эффективных строительных материалов // Молодой ученый. 2012. №5. С.16–20.

10. Шеховцова С.Ю., Высоцкая М.А. Влияние углеродных нанотрубок на свойства ПБВ и асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2015. №11. С.110–119.

11. Кожитов Л.В., Запороцкова И.В., В Козлов В. Перспективные наноматериалы на основе углерода // Вестник ВолГУ. 2009. Серия 10. Вып. 4. С. 63–85.

12. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. № 3. Ч. 2. С. 267–271.

13. Шадрин В.В., Корнев Ю.В., Гамлицкий Ю.А. Изменение свойств резины в результате модификации поверхности частиц углеродного наполнителя // Механика композиционных материалов и конструкций. 2009. №3. С.41–410.

14. Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А. Использование технического углерода в качестве добавки к дорожным битумам // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 2. С. 275–280.

15. Левкович Т.И., Беляков А.И., А Билько.Е., Тищенко А.С. О модификации битумов и асфальтобетонных смесей для повышения сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Приволжский научный вестник. 2016. №1. С.48–53.

16. Углова Е.В., Бессчетнов Б. В. Длительная трещиностойкость асфальтобетона дорожных покрытий // Вестник ВолГАСУ. 2011. №23 (42). С.103–109.

17. Соколов Ю.В. и др. Исследование структуры и свойств концентрированных битумных мастик на основе битумов и технического углерода // Строительные материалы. 2005. № 5. С. 10–11.

18. Бакланова О.Н. и др. Влияние параметров механической активации на изменение размеров агрегатов, текстуры и функционального состава поверхности технического углерода // Журнал прикладной химии. 2017. Т. 90. Вып. 12. С.1654–1662.

## REFERENCES

1. Gureev A. A., Konovalov A. A., Samsonov V. V. Sostojanie i perspektivy razvitiya proizvodstva dorozhnyh vjzhushhih materialov v Rossii [State and prospects of the road binders' production in Russia]. *Mir nefteproduktov. Vestnik nefjtjanyh kompanij*. 2008; 1:12–16 (in Russian).

2. Djumaeva O.N., Solodova N.L., Malanicheva E.A. Osnovnye tendencii proizvodstva bitumov v Rossii [Main trends in the production of bitumen in Russia]. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta. Publishing house of the computer science and informational technologies*. 2015; 18(20):132–136 (in Russian).

3. Rudensky A.V. Bitumnye vjzhushhie uluchshennogo kachestva, modifitsirovannye, kompleksnye, kompozicionnye [Bitumen binders of improved quality, modified, complex, composite]. *Dorogi i mosty*. 2007; 2: 208–214 (in Russian).

4. Inozemtsev S.S., Korolev E.V. Razrabotka nanomodifikatorov i issledovanie ih vlijaniya na svojstva bitumnyh vjzhushhih veshhestv. *Vestnik MGSU*. 2013; 10: 131–139 (in Russian).

5. Akimov A.E., Yadykina V.V., Gridchin A.M. Primenenie tokov SVCh dlja povysheniya harakteristik dorozhnyh bitumov [Application of microwave currents to improve the characteristics of road bitumen]. *Stroitel'nye materialy*. 2010; 1: 12–14 (in Russian).

6. Zolotarev V.A., Painter V.V., Lapchenko A.S. Reologicheskie svojstva asfal'topolimerbetonov pri dinamicheskom rezhime deformirovaniya [Rheological properties of asphalt polymer concrete under dynamic mode]. *Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli*. 2008; 1: 10–13 (in Russian).

7. Pivovarova N.A. Priroda vlijaniya postojannogo magnitnogo polja na nefjtjanye dispersnye sistemy [Nature of the constant magnetic field influence on oil disperse systems]. *Nefteperabotka i neftehimija*. 2004; 10: 20–25 (in Russian).

8. Yartsev V.P., Dolzhenkova M.V., Petrova N.I. Vlijanie napolnitelej i nanodobavok na jekspluatacionnye svojstva kompozitov na osnove bituma [Effect of fillers and additives on the performance properties of composites based on bitumen]. *Vestnik TGTU*. 2014; 20: 801–809 (in Russian).

9. Zhukov M.O., Tolchikov Yu.N., Mikhaleva Z.A. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya modifikatorov na osnove uglerodnyh nanostruk-



tur v tehnologii jeffektivnyh stroitel'nyh materialov [Research of possibility of the modifiers' application on the basis of carbon nanostructures in technology of effective building materials]. *Molodoj uchenyj*. 2012; 5: 16–20 (in Russian).

10. Shekhovtsova S.Yu., Vysotskaya M.A. Vliyanie uglerodnih nanotrubok na svoystva PBV i asfal'tobetona [Influence of carbon nanotubes on the properties of PBV and asphalt concrete]. *Vestnik MGSU*. 2015; 11: 110–119 (in Russian).

11. Kozhitov L.V., Zaporotskova I.V., Kozlov. *Perspektivnye nanomaterialy na osnove ugleroda* [Promising carbon based nanomaterials]. *Vestnik Volga*. 2009; 4(10): 63–85 (in Russian).

12. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Chulkova I.L. Zakon srodstva struktur v materialovedenii [Law of affinity structures in materials science]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014; 3. Part 2: 267–271 (in Russian).

13. Shadrin V.V., Kornev Yu.V., Gamlitsky Yu.A. Izmenenie svoystv reziny v rezul'tate modifikatsii poverhnosti chastic uglerodnogo napolnitelja [Change of rubber properties as a result of modification of the carbon filler particles' surface]. *Mehanika kompozicionnyh materialov i konstrukcij*. 2009; 3: 41–410 (in Russian).

14. Abdullin A.I., Malanicheva E.A. Ispol'zovanie tehnikeskogo ugleroda v kachestve dobavki k dorozhnym bitumam [Use of carbon black as an additive to road bitumens]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014; 2(17): 275–280 (in Russian).

15. Levkovich T.I., Belyakov A.I., And Bilko E., Tishchenko A.S. O modifikatsii bitumov i asfal'tobetonnyh smesey dlja povysheniya sdvigoustojchivosti asfal'tobetonnyh pokrytij avtomobil'nyh dorog [About modification of bitumen and asphalt concrete mixes for increase of shear resistance of asphalt concrete coverings of highways]. *Privolzhskij nauchnyj vestnik*. 2016; 1: 48–53 (in Russian).

16. Uglova E. V., Besschetnov B. V. Dlitel'naja treshhinostojkost' asfal'tobetona dorozhnyh pokrytij [Long-term cracking resistance of asphaltic concrete pavement]. *Vestnik VolGASU*. 2011; 23 (42): 103–109 (in Russian).

17. Sokolov Ju.V. etc. Issledovanie struktury i svoystv koncentrirovannyh bitumnyh mastik na osnove bitumov i tehnikeskogo ugleroda [Research of the structure and properties of concentrated bitumen mastics based on bitumen and carbon black]. *Stroitel'nye materialy*. 2005; 5: 10–11 (in Russian).

18. Baklanova O.N. etc. Vliyanie parametrov mehanicheskoy aktivacii na izmenenie razmerov

agregatov, tekstury i funkcional'nogo sostava poverhnosti tehnikeskogo ugleroda [Influence of parameters of mechanical activation on the change in the size of units, texture and functional composition of the carbon black surface]. *Zhurnal prikladnoj himii*. 2017; 12(90): 1654–1662 (in Russian).

**Поступила 27.02.2019, принята к публикации 27.08.2019.**

**Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Беляев Константин Владимирович (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID: 0000-0002-9443-0903 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: bkv775@mail.ru).

Чулкова Ирина Львовна (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, директор «Инженерно-строительного института» ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID: 0000-0003-4451-2297 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: le5@inbox.ru).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Konstantin V. Belyaev – Candidate of Technical Sciences, Department of the Operation and Service of Transport and Technological Machines and Systems in Construction, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), ORCID: 0000-0002-9443-0903 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: bkv775@mail.ru).

Irina L. Chulkova – Doctor of Technical Sciences, Director of the Engineering and Construction Institute, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), ORCID: 0000-0003-4451-2297 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: le5@inbox.ru).

#### ВКЛАД СОАВТОРОВ

Беляев К.В. Провёл анализ литературных источников. Участвовал в проведении экспериментов и анализе результатов. Проведена работа по оформлению текстового материала. Оформлял сопроводительную документацию.

*Чулкова И.Л. Проведён анализ литературных источников. Участие в анализе результатов. Проверка и корректировка статьи.*

**AUTHORS' CONTRIBUTION**

*Konstantin V. Belyaev – analysis of literary sources; experimental and results' analysis;*

*design of the material; preparing of the accompanying documentation.*

*Irina L. Chulkova – analysis of literary sources; participation in the results' analysis; correction of the paper.*