

МАТЕРИАЛТАНУ  
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ  
MATERIAL SCIENCEDOI 10.51885/1561-4212\_2022\_3\_118  
MPHTI 67.15.49**А.Б. Жамболова<sup>1</sup>, А.Н. Кыдырали<sup>1</sup>, Е.К. Онгарбаев<sup>1,2</sup>, Е. Тилеуберди<sup>1,3</sup>, Е.Д. Амирбаев<sup>4</sup>**<sup>1</sup>Институт проблем горения, г. Алматы, Казахстан

E-mail: zhambolova.ainur@mail.ru\*,

E-mail: aksaule2014r@gmail.com

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

E-mail: Erdos.Ongarbaev@kaznu.edu.kz

<sup>3</sup>Казахский национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы, Казахстан

E-mail: erbol.tileuberdi@mail.ru

<sup>4</sup>Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт, г. Алматы, Казахстан

E-mail: Erik\_neo@mail.ru

**УЛУЧШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИТУМОВ  
И АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ**  
**РЕЗИНА ҮГІНДІСІМЕН ТҮРЛЕНДІРУ АРҚЫЛЫ БИТУМДАР МЕН АСФАЛЬТБЕТОН**  
**ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЖАҚСARTY**  
**IMPROVEMENT OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF BITUMENS**  
**AND ASPHALT CONCRETE MIXTURES BY MODIFICATION WITH RUBBER CRUMB**

**Аннотация.** Интенсификация процесса окисления битумного сырья имеет важное значение для повышения качества дорожно-строительных материалов. Целью работы явилось улучшение физико-механических характеристик битумов и асфальтобетонных смесей путем окисления нефтяного гудрона с добавкой резиновой крошки. В работе стандартными методами определены эксплуатационные характеристики резинобитумных вяжущих и асфальтобетонных смесей для установления их соответствия требованиям стандарта и влияния добавок резиновой крошки. Процесс перемешивания гудрона и модификатора проводился при температуре 180 °С, процесс окисления – при 260 °С, время перемешивания составило 1 час, время окисления – 2 часа. Проведено опытно-промышленное испытание приготовленных асфальтобетонных смесей и уложен экспериментальный участок дороги. Показано сравнение традиционной технологии получения окисленных битумов и предложенного способа, что подтверждает интенсификацию процесса окисления при воздействии модификатора.

**Ключевые слова:** резиновая крошка; битум; асфальтобетонная смесь; гудрон; модифицирование.

**Аңдатпа.** Жол-құрылыс материалдарының сапасын арттыру үшін битумдық шикізатты тотықтыру процесінің қарқындылығын арттырудың маңызы зор. Жұмыстың мақсаты резина үгіндісін қосып, мұнай гудронын тотықтыру арқылы битумдар мен асфальтбетон қоспаларының физикалық-механикалық сипаттамаларын жақсарту болды. Жұмыста резинабитумды байланыстырғыштардың және асфальтбетон қоспаларының эксплуатациялық сипаттамалары стандарт талаптарына сәйкестігін және резина үгіндісі қоспаларының әсерін анықтау үшін стандартты әдістермен анықталды. Гудрон мен түрлендіргішті араластыру процесі 180 °С, тотығу процесі – 260 °С температурада жүргізілді, араластыру уақыты – 1 сағат, тотығу уақыты – 2 сағат болды.

Дайындалған асфальтбетон қоспаларына тәжірибелік-өндірістік сынақ жүргізіліп, жолдың тәжірибелік учаскесі төселді. Тотыққан битумдарды алудың дәстүрлі технологиясы мен ұсынылған әдісті салыстыру көрсетілді, бұл түрлендіргіш әсерінен тотығу процесінің қарқынды өтетіндігін растайды.

**Түйін сөздер:** резина үгіндісі; битум; асфальтбетон қоспасы; гудрон; түрлендіру.

**Abstract.** The intensification of the process of oxidation of bituminous raw materials is important for improving the quality of road construction materials. The aim of the work was to improve the physical and mechanical characteristics of bitumen and asphalt concrete mixtures by oxidizing vacuum residue with the addition of rubber crumb. In the work, the performance characteristics of rubber-bitumen binders and asphalt concrete mixtures were determined using standard methods to establish their compliance with the requirements of the standard and the influence of rubber crumb additives. The mixing process of vacuum residue and modifier was carried out at a temperature of 180 °C, the oxidation process – at 260 °C, mixing time – 1 hour, oxidation time – 2 hours. A pilot test of the prepared asphalt concrete mixtures was carried out and an experimental section of the road was laid. A comparison of the traditional technology for obtaining oxidized bitumen and the proposed method is shown, which confirms the intensification of the oxidation process under the influence of a modifier.

**Keywords:** rubber crumb; bitumen; asphalt mix; vacuum residue; modification.

**Введение.** Рост требований к эксплуатационным характеристикам асфальтобетонных смесей в связи с увеличением количества транспортных средств на дорогах и их скоростей движения выявляет недостаточность существующего в настоящее время уровня качества дорожных битумов. Из-за низкого качества битумных вяжущих и асфальтобетонных смесей сокращаются сроки службы дорожных покрытий. Условия окружающей среды, техногенные и климатические факторы также оказывают существенное влияние на физико-механические характеристики дорожно-строительных материалов. Поэтому получению и внедрению новых вяжущих материалов для асфальтобетонных смесей, способных повысить срок службы дорог и их качество, придается большое значение.

**Обзор литературы.** Нефтяные дорожные битумы получают из тяжелых нефтяных остатков, в частности гудрона, окислением воздухом при температуре 230-280 °C в течение от 8 до 12 часов в зависимости от природы исходного сырья [1]. Для улучшения характеристик полученных битумов проводят их модификацию различными добавками [2], которые увеличивают интервал пластичности битума, при котором вяжущее сохраняет вязкость, необходимую для обеспечения устойчивости асфальтобетона. В качестве модификаторов битумов предложены полимеры [3], резиновая крошка [4], сера, углеродные материалы, наноматериалы [5-6] и другие наполнители.

Однако модификация готового битума не всегда приводит к удовлетворительным результатам. Результаты прямого модифицирования битума резиновой крошкой показали, что, несмотря на повышение температуры размягчения битума, глубина проникновения иглы и растяжимость битума снижается, что приводит к ухудшению качественных показателей битума [7]. Во время прямого модифицирования битума резиновая крошка не смешивается с битумом до гомогенного состояния, так как не растворяется в смеси при обычных условиях переработки и не образует непрерывную сетку полимера [8].

В связи с этим, эффективным представляется способ улучшения качества битумов, когда модификатор добавляют в сырье процесса окисления. Согласно литературным данным [9-11], введение в сырье малых количеств модификаторов может положительно влиять на свойства получаемых битумов: улучшаются пластичность, групповой и структурный состав. Однако для наиболее полной реализации потенциальных возможностей модификации сырья при производстве окисленных битумов следует существенно расширить систематические исследования указанных систем.

При решении вопроса о перспективности применения в процессе окисления нефтяного гудрона новых модификаторов основными критериями являются высокая скорость окисления, энергоэффективность и рациональное ресурсопотребление в условиях обеспечения экологической безопасности. Поэтому и с научной, и с практической точек зрения важно исследовать влияние модификаторов на свойства продуктов жидкофазного окисления нефтяного гудрона. Данные по физико-механическим характеристикам продуктов окисления модифицированного гудрона необходимы для разработки оптимального режима химико-технологического процесса.

В связи с вышеизложенным, цель данной работы состояла в исследовании физико-механических показателей продуктов окисления нефтяного гудрона с добавкой резиновой крошки, воздействующей на структурную организацию исходной нефтяной системы.

*Материалы и методы исследования.* В работе в качестве исходного сырья для получения битумов использован гудрон Омского НПЗ, который является сырьем процесса окисления для получения битумов ТОО «Асфальтобетон 1» г. Алматы. Выбор гудрона ТОО «Асфальтобетон 1» обусловлен тем, что с использованием производственных мощностей данного завода проведено опытно-промышленное испытание асфальтобетонных смесей, приготовленных на основе резинобитумных вяжущих, полученных окислением гудрона с добавкой резиновой крошки.

Гудрон представляет собой жидкость плотностью 957,0 кг/м<sup>3</sup> при 20 °С. Изучены групповой и фракционный составы гудрона, которые представлены в табл. 1. Гудрон содержит большое количество парафино-нафтеновых (25,9 %) и тяжелых ароматических масел (18,1 %). Общее содержание смол (31,5 %) и асфальтенов (11,8 %) также значительно. Анализ фракционного состава показал, что содержание легких дистиллятов составляет 39,9 %.

**Таблица 1.** Групповой и фракционный состав гудрона ТОО «Асфальтобетон 1»

Показатель	Гудрон
Содержание масел, мас. %:	
парафино-нафтеновые	25,9
легкие ароматические	9,9
средние ароматические	2,8
тяжелые ароматические	18,1
Содержание смол, мас. %:	
смолы нейтральные	11,2
смолы кислые	20,3
Содержание асфальтенов, мас. %	11,8
Фракции жидкого дистиллята, мас. %:	
н.к. – 180 °С	7,0
200...350 °С	32,9
350 °С – к.к.	60,1

В качестве модификатора гудрона использована резиновая крошка ТОО «Q-Recycling» г. Алматы с размерами частиц менее 0,6 мм. Выбор резиновой крошки в качестве модификатора обусловлен тем, что она действует на структуру компонентов гудрона за счет регулирования фазовых переходов и изменения молекулярно-дисперсного состояния битума.

Процесс окисления гудрона ТОО «Асфальтобетон 1» с добавкой резиновой крошки проводился при следующем режиме: в гудрон добавляли 2 мас. % резиновой крошки и перемешивали при температуре 180 °С в течение 0,5 часов, затем проводили окисление при 260 °С в течение 2 часов, после чего продукт окисления перемешивали с 8 мас. % резиновой крошкой в течение 0,5 часов. Таким образом, общее время получения резинобитумного вяжущего составило 3 часа. Расход воздуха составил 8-10 л/мин. Схема и принцип действия установки окисления гудрона приведены в работе [12]. Оптимальные режимы эксперимента выбраны на основе определения основных физико-механических характеристик (глубина проникновения иглы, температура размягчения, растяжимость) продуктов окисления гудрона с добавкой резиновой крошки в зависимости от температуры, времени окисления и количества добавки [12].

Плотность гудрона была определена по СТ РК 1642-2007, фракционный состав в аппарате АРН-Лаб-03 по СТ РК АСТМ Д 1160-2010. Групповой химический состава гудронов определен с использованием лабораторного жидкостного хроматографа «Градиент-М». Для установления соответствия продуктов окисления гудрона резинобитумным вяжущим (РБВ) определены их физико-механические характеристики в соответствии со стандартами Республики Казахстан. Физико-механические характеристики асфальтобетонных смесей были определены по СТ РК 1218-2003.

*Результаты и их обсуждение.* Физико-механические характеристики продукта окисления гудрона без и с добавкой резиновой крошки представлены в табл. 2. При окислении гудрона при температуре 260 °С в течение 3-х часов без модификатора получился продукт, который при 25°С имел глубину проникновения иглы – 72,0,1 мм и низкую температуру размягчения по кольцу и шару (КиШ) – 48,3 °С. По температуре размягчения и растяжимости при 0 °С продукт окисления не соответствовал требованиям СТ РК 2028-2010, предъявляемым к стандартным маркам резинобитумных вяжущих.

**Таблица 2.** Физико-механические характеристики продукта окисления гудрона без модификатора и резинобитумного вяжущего, полученного окислением гудрона, модифицированного резиновой крошкой

Показатель	Продукт окисления гудрона без модификатора	Резинобитумное вяжущее	Требования СТ РК 2028-2010 на РБВ 60/90
Глубина проникновения иглы при 25 °С, 0,1 мм	72,0	77,0	61-90
Температура размягчения по КиШ, °С	48,3	52,0	не ниже 52
Растяжимость, см: при 25°С	14,0	16,0	не менее 12
при 0 °С	5,0	6,0	не менее 6
Эластичность при 25 °С, °С	50,0	60,0	не менее 30
Температура хрупкости, °С	-18,0	-23,0	не выше -18
Температура вспышки, °С	250,0	260,0	не ниже 250
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	5,0	4,2	не более 5

В отличие от продукта окисления без модификатора, полученный в результате окисления модифицированного резиновой крошкой гудрона продукт характеризуется повышенным значением глубины проникновения иглы при 25 °С, равным 77·0,1 мм. Температура размягчения повысилась на 4 градуса и составила 52 °С. Растяжимость при 25 °С увеличилась на 2 см и составила 16 см, при 0 °С – 6 см, что соответствует требованиям СТ РК. Резинобитумное вяжущее характеризуется повышенным значением эластичности (60,0 °С) и низким значением температуры хрупкости (-23,0 °С), что очень важно при эксплуатации асфальтобетонных покрытий в условиях отрицательных температур [13].

Малое изменение температуры размягчения после прогрева (4,2 °С) характеризует устойчивость резинобитумного вяжущего к термоокислительной деструкции. Важной особенностью резиновой крошки является присутствие в ее составе антиоксидантов, что обеспечивает повышение устойчивости битума к окислительной деградации. Продукт окисления гудрона, модифицированный резиновой крошкой, по физико-механическим показателям соответствовал резинобитумному вяжущему марки РБВ 60/90 по стандарту СТ РК 2028-2010.

Далее на основе резинобитумного вяжущего, полученного окислением гудрона ТОО «Асфальтобетон 1» с предварительной добавкой и перемешиванием резиновой крошки, была приготовлена горячая асфальтобетонная смесь. Асфальтобетонная смесь содержит следующие компоненты: щебень Ново-Алексеевского карьера (Алматинская область, Казахстан) из гравия фракции 5...20 мм – 42 мас. %; отсев дробления фракции 0...5 мм – 47,1 мас. %; минеральный активированный порошок производства ТОО «Жартас-СН» (с. Кордай, Жамбылская область, Казахстан) – 10,9 мас. %; резинобитумное вяжущее – 5,2 мас. %.

Физико-механические показатели асфальтобетонной смеси были определены согласно СТ РК 1218-2003 и представлены в табл. 3. Из анализа результатов испытаний следует, что приготовленная асфальтобетонная смесь по физико-механическим свойствам соответствует требованиям СТ РК 2028-2010 для типа Б. Образцы асфальтобетона характеризуются высокими показателями сцепления при сдвиге при 50 °С и водостойкостью.

**Таблица 3.** Физико-механические показатели мелкозернистой плотной асфальтобетонной смеси, приготовленной на основе резинобитумного вяжущего

Показатель	Асфальто-бетонная смесь	Нормативные показатели по СТ РК 2028-2010
Водонасыщение, % по объему	3,5	1,5-4,0
Предел прочности при сжатии при 50 °С, МПа	1,9	не менее 1,8
Предел прочности при сжатии при 0 °С, МПа	7,1	не более 13,0
Трещиностойкость по пределу прочности при расколе при 0 °С, МПа	4,2	4,0-6,5
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения	0,85	не менее 0,83
Сцепление при сдвиге при 50 °С, МПа	0,49	не менее 0,38
Водостойкость	0,96	не менее 0,9
Водостойкость при длительном водонасыщении	0,92	не менее 0,8

Для проведения опытно-промышленного испытания асфальтобетонной смеси с укладкой экспериментального участка была изготовлена опытная партия асфальтобетонной смеси на основе битума, полученного окислением гудрона ТОО «Асфальтобетон 1» с добавкой резиновой крошки.

Предварительно была отобрана проба окисленного модифицированного битума для испытания на соответствие требованиям СТ РК 2028-2010. Результаты испытания приведены в табл. 4.

**Таблица 4.** Физико-механические характеристики окисленного модифицированного битума для приготовления опытной партии асфальтобетонной смеси

Показатель	Резинобитумное вяжущее	Требования СТ РК 2028-2010 на РБВ 60/90
Глубина проникновения иглы при 25 °С, 0,1 мм	79,7	61-90
Температура размягчения по КиШ, °С	52,0	не ниже 52
Растяжимость, см: при 25°С при 0°С	20,0 6,5	не менее 12 не менее 6
Эластичность при 25°С, °С	67,0	не менее 30
Температура хрупкости, °С	- 26,0	не выше - 18
Температура вспышки, °С	260,0	не ниже 250
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	1,7	не более 5

Асфальтобетонная смесь типа Б на основе окисленного битума, модифицированного резиновой крошкой состояла из следующих компонентов: щебень фракции 5...20 мм из карьера «Ново-Алексеевск» – 42 %; отсев дробления 0...5 мм из карьера «Ново-Алексеевск» – 47,1 %; автивированный минеральный порошок ТОО «Жартас-СН» – 7,5 %; окисленный битум, модифицированный резиновой крошкой – 5,2 %; адгезионная добавка «Wetfix BE» – 0,3 %.

Работы по выпуску опытной партии асфальтобетонной смеси производились 1 ноября 2021 г. На нагретые до 170 °С и отдозированные каменные материалы подавали холодный минеральный порошок и окисленный битум, модифицированный резиновой крошкой, которые вводились в смеситель через весовые дозаторы. Полный цикл перемешивания составил 60 с. Температура асфальтобетонной смеси составила 180 °С. Количество выпущенной опытной партии асфальтобетонной смеси составило 123 т.

Выбор участка автомобильной дороги для опытно-экспериментальной укладки асфальтобетонной смеси был предварительно согласован с КГУ «Управление пассажирского транспорта и автомобильных дорог города Алматы». Участок расположен на автомобильной дороге по адресу: г. Алматы, ул. Бурундайская, 53 (в сторону ул. Кусаинулы). Опытно-экспериментальный участок дороги шириной 12 м и общей протяженностью 80 м.

Для выполнения работ были использованы асфальтоукладчик Vögele (1800) (Германия), гладковальцовые катки НАММ HD 90 (9 т), НАММ HD 130 (14 т), автосамосвалы SHAGMAN (30 т). Укладка верхнего слоя покрытия из асфальтобетонной смеси была произведена на выравнивающий слой покрытия. Для обеспечения сцепления слоев

покрытия и основания перед укладкой (за 1...2 ч) на устроенный нижний слой покрытия выполнена подгрунтовка эмульсией ЭБК-2 с нормой расхода 0,3 л/м<sup>2</sup> (рис. 1).

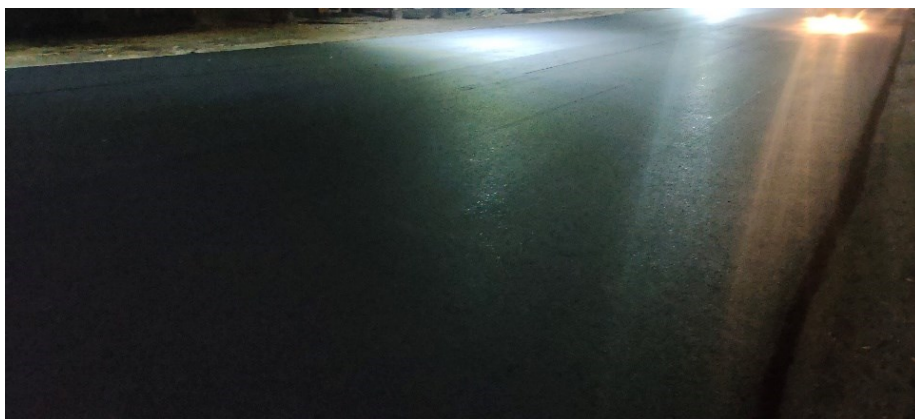


**Рисунок 1.** Подгрунтовка дорожного покрытия эмульсией ЭБК-2

Укладка асфальтобетонной смеси проводилась двумя укладчиками на ширину полосы 12 м. Технологический процесс представлен на рис. 2. Температура смеси при укладке составила 165...170 °С. Уплотнение производилось 3 катками, работающими в статическом режиме. Укладка и уплотнение выполнены без нарушений технологии. Визуально покрытие выглядит ровным и однородным (рис. 3).



**Рисунок 2.** Укладка опытной партии асфальтобетонной смеси на основе окисленного битума, модифицированного резиновой крошкой



**Рисунок 3.** Готовое покрытие асфальтобетонной смеси на основе окисленного битума, модифицированного резиновой крошкой

Результаты испытаний образцов асфальтобетонной смеси, отобранной с опытного участка приведены в табл. 5. Из анализа результатов испытаний образцов следует, что основные физико-механические показатели асфальтобетонной смеси соответствуют требованиям СТ РК 2028-2010 на тип «Б».

Получение битумов окислением гудронов с предварительным перемешиванием с резиновой крошкой позволяет повысить качество получаемых битумов и при этом снизить температуру и сократить время процесса, что доказывает конкурентоспособность данного способа.

**Таблица 5.** Результаты испытаний мелкозернистого плотного асфальтобетона, приготовленного на модифицированном битуме, полученного путем окисления гудрона ТОО «Асфальтобетон 1» с добавлением резиновой крошки

Показатель	Асфальтобетонная смесь	Требования СТ РК 2028-2010
Водонасыщение, % по объему	3,0	1,5...4,0
Предел прочности при сжатии при температуре 50°C, МПа	1,83	не менее 1,8
Предел прочности при сжатии при температуре 0°C, МПа	6,0	не более 13,0
Трещиностойкость по пределу прочности при расколе при температуре 0 °С	4,0	от 4,0 до 6,5
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения	0,92	не менее 0,83
Сцепление при сдвиге при температуре 50 °С, МПа	0,44	не менее 0,38

Современная технология производства окисленных битумов заключается в окислении нефтяных остатков кислородом воздуха без модификатора при температуре 230...280 °С с подачей 0,84...1,40 м<sup>3</sup>/мин (или 0,014...0,0233 м<sup>3</sup>/с) воздуха на 1 т битума при продолжительности до 12 ч [14]. В табл. 6 показан сравнительный анализ традиционной и предложенной технологии получения битумного материала. Способ получения



окисленных модифицированных битумов отличается от традиционной технологии следующим:

- процесс проводится при сравнительно низких температурах 240...260 °С, что снижает энергетические затраты,
- процесс протекает за короткое время в течение 3...4 часов, что снижает экономические затраты,
- получаемые продукты окисления/модифицирования обладают улучшенными физико-механическими характеристиками,
- добавка модификатора (резиновой крошки) не приводит к изменению конструкции установки.

**Таблица 6.** Сравнение традиционной и разработанной технологий производства битумного материала

Параметры процесса	Традиционная технология	Разработанная технология
Сырье	Гудрон	Гудрон
Температура процесса	230...280 °С	240...260 °С
Время окисления	8...12 часов	3...4 часа
Расход воздуха	8...10 л/мин	8...10 л/мин
Расход модификатора	-	10 мас. %
Продукты процесса	Нефтяные битумы дорожных марок	Нефтяные модифицированные битумы дорожных марок

Сущность процесса окисления заключается в том, что содержащиеся в составе гудрона масла и смолы под воздействием кислорода воздуха превращаются в битум. С повышением температуры скорость реакции окисления возрастает и процесс окисления ускоряется. При температуре выше 280 °С преобладают реакции образования карбенов и карбоидов, которые ухудшают качество битума. Поэтому процесс окисления ведется в интервале температур 240...280 °С. С повышением температуры окисления увеличивается температура размягчения битума, снижается растяжимость и пенетрация, повышается хрупкость, ухудшается адгезионное сродство, снижается теплостойкость и интервал пластичности.

Окисление гудрона с резиновой крошкой обеспечивает полное окисление сырья и связывание его с модификатором. Предварительное перемешивание с модификатором и окисление гудрона позволяют упростить способ получения модифицированных битумов в отличие от известных, когда модифицируется окисленный битум. Резиновая крошка имеет разветвленную структуру строения с донорно-акцепторными связями полимерной цепи, в отличие от других модификаторов-полимеров, что повышает способность к кристаллизации, которая в значительной степени определяет механические свойства, а фениленовая группа в основной цепи придает жесткость скелету, повышает температуру стеклования и температуру плавления [15], что способствует достижению технического эффекта поставленной задачи – соответствие получаемых резинобитумных вяжущих нормативным требованиям СТ РК 2028-2010, обеспечивающее их надежную эксплуатацию в составе асфальтобетонных смесей. Резиновая крошка в составе вяжущего выступает в роли частиц полимерного компонента, которые осуществляют дисперсно-эластичное армирование асфальтобетона.

*Заклучение.* Перемешивание гудрона ТОО «Асфальтобетон 1» с 2 мас. % резиновой крошкой при 180 °С в течение 0,5 часов, окисление при 260 °С в течение 2-х часов, последующее перемешивание продукта с 8 мас. % резиновой крошкой в течение 0,5 часов позволило получить резинобитумное вяжущее марки РБВ 60/90 с повышенным значением эластичности (60 °С) и низким значением температуры хрупкости (-23 °С).

На основе резинобитумных вяжущих, полученных окислением гудрона ТОО «Асфальтобетон 1», модифицированного резиновой крошкой приготовлено 123 т опытной партии асфальтобетонной смеси типа Б и уложен опытно-экспериментальный участок дороги шириной 12 м, общей протяженностью 80 м на автомобильной дороге г. Алматы по ул. Бурундайская, 53.

*Благодарность.* Работа выполнена в рамках темы «Разработка и внедрение технологии производства окисленных модифицированных битумов» научно-технической программы «Работы по управлению дорожной деятельностью в части совершенствования нормативно-технической базы», финансируемой РГП на ПВХ «Национальный центр качества дорожных активов» Министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан, договор №190540022580/210848/00 от 6 мая 2021 г.

#### Список литературы

1. Petersen J.C. A review of the fundamentals of asphalt oxidation. Transportation Research Circular E-C140. Washington. – 2009. – 78 p.
2. Lesueur D. The Colloidal Structure of Bitumen: Consequences on the Rheology and on the Mechanisms of Bitumen Modification // Advances in colloid and interface science. – 2009. – Vol. 145, no. 1-2. – Pp. 42-82.
3. Mouillet V., Lamontagne J., Durrieu F., Planche J-P., Lapalu L. Infrared microscopy investigation of oxidation and phase evolution in bitumen modified with polymers. Fuel. – 2008. – Vol. 87. – Pp. 1270-1280.
4. Cong P., Xun P., Xing M., Chen S. Investigation of asphalt binder containing various crumb rubbers and asphalts // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 40. – Pp. 632-641.
5. Nikolskii V.G., Dudareva T.V., Krasotkina I.A., Zvereva U.G., Bekeshev V.G., Rochev V.Ya., Kaplan A.M., Chekunaev N.I., Vnukova L.V., Styrikovich N.M., Gordeeva I.V. Development and Properties of New Nanomodifiers for Road Pavement // Russian Journal of Physical Chemistry B. – 2014. – Vol. 8, no. 4. – Pp. 577-583.
6. Zhambolova A., Vocaturo A.L., Tileuberdi Y., Ongarbayev Y., Caputo P., Aiello I., Rossi C.O., Godbert N. Functionalization and Modification of Bitumen by Silica Nanoparticles // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10, no. 17. – Pp. 6065.
7. Wang H., Apostolidis P., Zhu J., Liu X., Skarpas A., Erkens S. The role of thermodynamics and kinetics in rubber-bitumen systems: a theoretical overview // International Journal of Pavement Engineering. – 2020. – Vol. 22. – Pp. 1785-1800.
8. Jeong K-D., Lee S-J., Amirkhanian S.N., Kim K.W. Interaction effects of crumb rubber modified asphalt binders // Construction and Building Materials. – 2010. – Vol. 24. – Pp. 824-831.
9. Maity S.K., Kumar S., Srivastava M., Kharola A.S., Murya K.K., Konathala S., Chatterjee A.K., Garg M.O. Characterization of asphaltic material obtained by treating of vacuum residue with different reactive molecules. Fuel. – 2015. – Vol. 149. – Pp. 8-14.
10. Benbouzid M., Hafsi S. Thermal and kinetical analyses of pure and oxidized bitumens. Fuel. – 2008. – Vol. 87. – Pp. 1585-1590.
11. Фролов И.Н., Юсупова Т.Н., Зиганшин М.А., Охотникова Е.С., Фирсин А.А. Динамика формирования микроструктуры битума по данным модулированной дифференциальной сканирующей калориметрии // Нефтехимия. – 2017. – Т. 57, № 6. – С. 624-629.
12. Zhambolova A., Ongarbayev Y., Tileuberdi Y., Teltayev B. Oxidation of Vacuum Residue with the Addition of Crumb Rubber // Eurasian Chemo-Technological Journal. – 2022. – Vol. 24, no. 1. – Pp. 21-32.
13. Ongarbayev Y., Zhambolova A., Tileuberdi Y., Mansurov Z., Oliviero Rossi C., Calandra P., Teltayev B. Aging Process Effects on the Characteristics of Vacuum Residue Oxidation Products with the

Addition of Crumb Rubber. *Molecules*. – 2022. – Vol. 27. – Pp. 3284.

14. Онгарбаев Е.К., Жамболлова А.Б., Тилеуберди Е., Иманбаев Е.И., Акказин Е.А. Окисление тяжелых нефтяных остатков в присутствии катализаторов и модификаторов // *Горение и плазмохимия*. – 2019. – Т. 17, № 1. – С. 47-56.
15. Gallego J., Rodríguez-Alloza A.M., Antón R. Influence of the Naphthenic-Aromatic Content of the Base Binder on the Characteristics of Crumb Rubber Modified Binders and Asphalt Mixtures. *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11. – Pp. 3927.

#### References

1. Petersen J.C. A review of the fundamentals of asphalt oxidation. *Transportation Research Circular E-C140*. Washington. – 2009. – 78 p.
  2. Lesueur D. The Colloidal Structure of Bitumen: Consequences on the Rheology and on the Mechanisms of Bitumen Modification // *Advances in colloid and interface science*. – 2009. – Vol. 145, no. 1-2. – Pp. 42-82.
  3. Mouillet V., Lamontagne J., Durrieu F., Planche J-P., Lapalu L. Infrared microscopy investigation of oxidation and phase evolution in bitumen modified with polymers. *Fuel*. – 2008. – Vol. 87. – Pp. 1270-1280.
  4. Cong P., Xun P., Xing M., Chen S. Investigation of asphalt binder containing various crumb rubbers and asphalts // *Construction and Building Materials*. – 2013. – Vol. 40. – Pp. 632-641.
  5. Nikolskii V.G., Dudareva T.V., Krasotkina I.A., Zvereva U.G., Bekeshev V.G., Rochev V.Ya., Kaplan A.M., Chekunaev N.I., Vnukova L.V., Styrikovich N.M., Gordeeva I.V. Development and Properties of New Nanomodifiers for Road Pavement // *Russian Journal of Physical Chemistry B*. – 2014. – Vol. 8, no. 4. – Pp. 577-583.
  6. Zhambolova A., Vocaturo A.L., Tileuberdi Y., Ongarbayev Y., Caputo P., Aiello I., Rossi C.O., Godbert N. Functionalization and Modification of Bitumen by Silica Nanoparticles // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10, no. 17. – Pp. 6065.
  7. Wang H., Apostolidis P., Zhu J., Liu X., Skarpas A., Erkens S. The role of thermodynamics and kinetics in rubber-bitumen systems: a theoretical overview // *International Journal of Pavement Engineering*. – 2020. – Vol. 22. – Pp. 1785-1800.
  8. Jeong K-D., Lee S-J., Amirkhanian S.N., Kim K.W. Interaction effects of crumb rubber modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*. – 2010. – Vol. 24. – Pp. 824-831.
  9. Maity S.K., Kumar S., Srivastava M., Kharola A.S., Maurya K.K., Konathala S., Chatterjee A.K., Garg M.O. Characterization of asphaltenic material obtained by treating of vacuum residue with different reactive molecules. *Fuel*. – 2015. – Vol. 149. – Pp. 8-14.
  10. Benbouzid M., Hafi S. Thermal and kinetical analyses of pure and oxidized bitumens. *Fuel*. – 2008. – Vol. 87. – Pp. 1585-1590.
  11. Frolov I.N., Yusupova T.N., Ziganshin M.A., Ohotnikova E.S., Firsin A.A. Dinamika formirovaniya mikrostruktury bituma po dannym modulirovannoj differencial'noj skaniruyushchej kalorimetrii (Dynamics of bitumen microstructure formation according to the data of modulated differential scanning calorimetry). *Neftekhimiya (Petrochemistry)*. 2017. Vol. 57, no. 6. – S. 624-629.
  12. Zhambolova A., Ongarbayev Y., Tileuberdi Y., Teltayev B. Oxidation of Vacuum Residue with the Addition of Crumb Rubber. *Eurasian Chemico-Technological Journal*. – 2022. – Vol. 24, no. 1. – Pp. 21-32.
  13. Ongarbayev Y., Zhambolova A., Tileuberdi Y., Mansurov Z., Oliviero Rossi C., Calandra P., Teltayev B. Aging Process Effects on the Characteristics of Vacuum Residue Oxidation Products with the Addition of Crumb Rubber. *Molecules*. – 2022. – Vol. 27. – Pp. 3284.
  14. Onгарбаев Е.К., Жамболлова А.Б., Тилеуберди Е., Иманбаев Е.И., Акказин Е.А. Окисление тяжелых нефтяных остатков в присутствии катализаторов и модификаторов (Oxidation of heavy oil residues in the presence of catalysts and modifiers). *Gorenie i plazmohimiya (Combustion and plasma chemistry)*. – 2019. – Vol. 17, no. 1. – S. 47-56.
  15. Gallego J., Rodríguez-Alloza A.M., Antón R. Influence of the Naphthenic-Aromatic Content of the Base Binder on the Characteristics of Crumb Rubber Modified Binders and Asphalt Mixtures. *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11. – Pp. 3927.
- 
-