

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ)
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА»

УДК 691.32, 691.328

№ госрегистрации:

АААА-А18-118121390040-6

Инв. №

СОГЛАСОВАНО

Советник директора ГКУ

Архангельской области «Дорожное
агентство «Архангельскавтодор»

Е.А. Лобанов



2018 г.

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор по стратегическому
развитию и науке

САФУ им. М.В. Ломоносова

Б.Ю. Филиппов



2018 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ИЗУЧЕНИЕ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ
БИТУМА ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ И УКЛАДКЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА,
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОБАВКИ В БИТУМ,
ПОВЫШАЮЩЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА

Государственный контракт от 20 сентября 2018 г. №518/08

Руководитель темы

доц, канд. техн. наук

О.Н. Попова

« 30 » ноября 2018 г.

Ответственный исполнитель,
главный специалист

В.А. Бабаева

« 30 » ноября 2018 г.

Архангельск 2018

РЕФЕРАТ

Отчет 29 с., 19 рис., 5 табл., 20 источников.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, асфальтобетон, битум, стабилизирующая добавка, модификатор, дорожное покрытие.

Объектами исследования являются битум БНД-У 100/130 «Битурокс» и битум БНД 60/90 ООО «Лукойл-Нижегороднефтеоргсинтез», а так же добавки к щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси (ЩМАС) различного состава, представляющие собой гранулы определенного диаметра: стабилизатор «Хризопро» (производитель – АО «Оренбургские минералы», г. Ясный, Оренбургская область); стабилизирующая добавка «Гранулит-66» (производитель – ООО «Риминвест», г. Нижний Новгород); стабилизирующая добавка «Стилобит» (производитель - ООО «Производственная компания «Стилобит»», г. Екатеринбург).

Целью данной работы является определение завода-изготовителя битума с наилучшими физико-механическими и стоимостными показателями (в соседних регионах); определение наиболее оптимальной добавки, повышающей эксплуатационные свойства асфальтобетона.

Проведены испытания партий образцов битума на вязкость (пенетрацию), температуру размягчения, температуру вспышки, температуру хрупкости, растяжимость, изменение массы после прогрева, изменение температуры размягчения после прогрева. Выполнено сравнение результатов, полученных после испытаний, а также сравнение расхода и стоимости добавок с учетом затрат на транспортировку.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	7
1.1 Битум	7
1.2 Добавки	7
1.2.1 Гранулированный стабилизатор «Хризопро»	8
1.2.2 Стабилизирующая добавка «Стилобит»	9
1.2.3 Стабилизирующая добавка «Гранулит-66».....	10
2 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА БИТУМА	11
2.1 Методики испытаний.....	11
2.1.1 Определение глубины проникания иглы и индекса пенетрации	11
2.1.2 Определение температуры размягчения по кольцу и шару.....	12
2.1.3 Определение температуры хрупкости	14
2.1.4 Определение растяжимости	16
2.1.5 Определение температуры вспышки в закрытом тигле.....	18
2.1.6 Определения изменения массы и температуры размягчения после прогрева .	20
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ	21
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА И СТОИМОСТИ ДОБАВОК С УЧЕТОМ ЗАТРАТ НА ТРАНСПОРТИРОВКУ НА УСТРОЙСТВО 1 КМ ДОРОГИ.....	23
5 ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВКИ.....	25
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	27
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	28

ВВЕДЕНИЕ

Битумы относятся к наиболее распространённым органическим вяжущим веществам и представляют собой сложную смесь из многочисленных и разнообразных по химическому строению жидких и твёрдых углеродов и их производных, богатых кислородом, не растворимых в воде, но растворимых в сероуглероде, хлороформе и других органических растворителях [1].

До сих пор окисленные нефтяные битумы, как гидроизоляционные и вяжущие материалы в дорожном и гражданском строительстве, не имеют достойных конкурентов. Благодаря особенностям физико-механического поведения битума, а также относительной дешевизне и большому объёму производства, нефтяной битум более ста лет используется, как основной вяжущий материал для производства асфальтобетона [2].

Современный уровень развития автомобильного транспорта связан с непрерывным увеличением доли грузоперевозок, интенсивностью движения грузовых транспортных средств, приводящие к росту динамических нагрузок на дорожное покрытие. Эти и другие объективные факторы требуют дальнейшего повышения качества дорожного битума через поиск новых технико-технологических решений для достижения высоких физико-механических характеристик асфальтобетонных покрытий и, тем самым, обеспечения их долговечности [3].

Введение в битум асбеста даже в небольших количествах вызывает значительное увеличение его вязкости, что указывает на образование в нем вторичной структуры. При этом частицы волокнистого наполнителя, увеличивая степень объемного заполнения системы дисперсной фазой, в тоже время являются центрами структурообразования. Вновь образованная вторичная структура обладает большей структурной прочностью и вязкостью.

Асбестовые волокна так же способствуют возрастанию упругости и эластичности битумно-минеральной массы. Асбестовые волокна и наполнители из частиц плоской формы значительно эффективнее повышают сопротивление удару, чем порошкообразные добавки. Отмечается существенное преимущество

волокнистых наполнителей, они обеспечивают более эффективное сопротивление битума сжатию и особенно изгибу.

Помимо добавок асбеста, в ряде случаев применялось стекловолокно. Отличительной чертой получаемого материала является прочность, износостойкость и высокое сопротивление растягивающим напряжениям.

Исследования органических волокнистых добавок из отходов производства, содержащих в составе макромолекулы амидных, аминных, гидроксильных групп показывают, что применение волокон позволяет адсорбировать на своей поверхности значительно большее количество битума и получить ЦМА с высокими физико-механическими характеристиками, повышается сдвигоустойчивость покрытия [4].

К настоящему времени наибольшее распространение получили стабилизирующие добавки на основе целлюлозы, являющейся продуктом различных способов переработки растительного сырья. При этом целлюлоза применяется либо в виде фибриллированного (измельченного) волокна, либо в форме гранул. Короткофиберное целлюлозное волокно должно быть однородным и содержать не менее 50 % фибр длиной от 0,5 до 1,9 мм. Гранулированные добавки включают органическое вяжущее и структурообразователь, причем органическое вяжущее выбирают из группы: деготь, битум или битумная эмульсия, а в качестве структурообразователя используют пух подвальный и/или пух распыл, представляющий собой отход хлопчатобумажного производства [5].

Патент на идею использования натуральных целлюлозных добавок в качестве стабилизирующей добавки для ЦМА был выдан 30 июля 1968 года строительной компании «StrabagSE».

К полимерным добавкам следует отнести добавки дробленой резины являющейся продуктом переработки полимерного материала, добавки на основе полипропилена, нитрон полиамида, отходов полиэтиленовой упаковки, полиэфирных волокон и др.

В качестве наполнителей к битуму также используются термопластичные полимеры: эластомеры, полиолефины и т.д. Однако их использование требует обычно приготовления полимербитумной композиции в заводских условиях с

последующей доставкой в горячем виде к месту выполнения дорожно-строительных работ [4].

Под воздействием атмосферных факторов – температуры, света, воздуха и воды – происходят изменения физических свойств и химического состава битумов. Их составные части изменяются, переходя частично из одних видов в другие: масла переходят в смолы, смолы в асфальтены. Но процесс превращения масел в смолы идет значительно медленнее, чем превращение смол в асфальтены. Таким образом, с течением времени в битуме происходит увеличение количества асфальтенов. Количество же смол, придающих битуму пластичность, тягучесть, со временем уменьшается. По мере накопления асфальтенов постепенно теряются пластические свойства битума и увеличивается его хрупкость. Этот процесс называется старение битума.

В связи с тем, что старение битума происходит достаточно быстро, они наиболее «чувствительны» к нагреву, это должно учитываться в технологическом процессе приготовления асфальтобетонной смеси: температура нагрева минеральных материалов и битума, а также продолжительность нагрева битума должны быть, насколько это возможно по условиям производства работ, снижены.

Замедление старения покрытия может быть также достигнуто применением асфальтового бетона повышенной плотности (с минимально допустимой остаточной пористостью), а также периодически возобновляемой поверхностной обработкой покрытия. Уменьшение циркуляции воздуха и воды в асфальтобетонном покрытии резко замедляет процесс окисления битума.

Большое влияние на интенсивность старение битума оказывает способ производства битумов. Как показали исследования, проведенные в СоюздорНИИ, большой стабильностью отличаются битумы, окисленные в диспергированном состоянии [6].

1 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1 Битум

Битум – твердое или вязкое смолистое вещество черного цвета, природная или искусственная смесь углеводородов, применяемая в дорожном строительстве, производстве изоляционных материалов.

Для проведения испытаний использовали битум БНД-У 100/130 «Битурокс». Для его изготовления используется запатентованная технология Битурокс, основу которой составляет процесс концентрирующего окисления нефти методом вакуумной перегонки. В результате получается материал со сложной высокотехнологичной структурой: 75-80 % углеродов, 10-15 % водорода, 5 % кислорода, металлы и азот.

Так же использовался битум Битум БНД 60/90 ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез».

1.2 Добавки

Сравнение технических характеристик добавок представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики стабилизирующих добавок

Наименование добавки	Цвет	Размер частиц/гранул	Насынная плотность, г/см ³ , не более	Влажность, % по массе, не более	Термостойкость при температуре 220 °С по изменению массы гранул при прогреве, %, не более	Содержание технологической мелочи, %, не более	Суммарная удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг, не более
Хризопро	серый	Длина гранул 5-10 мм, диаметр 4,0±0,5 мм	0,95	3	3	3,50	740
Стилобит	коричн.	Длина гранул 5-20 мм, диаметр 4,5±0,5 мм	0,95	3	3	3,50	740
Гранулит-66	коричн.	Длина гранул до 10 мм, диаметр 4 мм	0,55-0,65	3-7	7	-	740

1.2.1 Гранулированный стабилизатор «Хризопро»

Производитель – АО «Оренбургские минералы», г. Ясный, Оренбургская область.

Гранулированный стабилизатор (гранулированный в связном виде) «Хризопро» (Рисунок 1)- стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси, изготовленная на основе хризотилового волокна АО «Оренбургские минералы» (от 85 до 95 %) с применением связующего на основе битумных компонентов (от 5 до 15 %) [7].

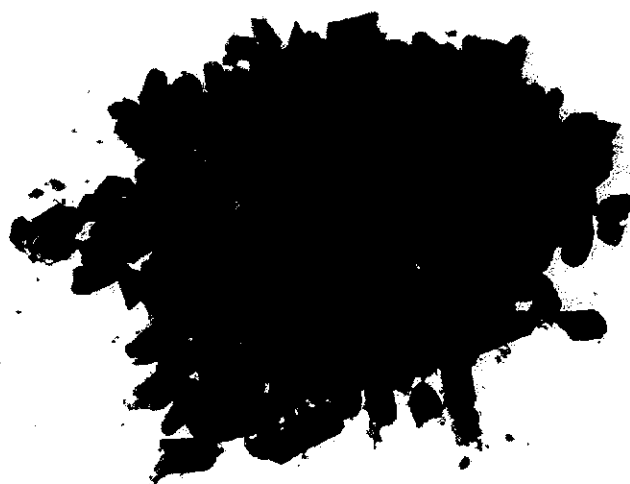


Рисунок 1 - Гранулированный стабилизатор «Хризопро»

Хризотил-асбест ($3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) - гидросиликат магния, по химическому составу близкий хорошо известному всем минералу - тальку ($3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$), т.е. с химической точки зрения он абсолютно безвреден для организма. Кристаллы хризотил-асбеста имеют необычное строение: они представляют собой тончайшие полые трубочки-фибриллы диаметром $2,6\cdot 10^{-5}$ мкм и длиной до 2...3 см. Такие кристаллы напоминают мягкие целлюлозные волокна хлопковой ваты. В то же время, будучи материалом неорганическим, волокна хризотил-асбеста не горят и выдерживают высокие температуры. Лишь при нагреве до $700\text{ }^\circ\text{C}$ они теряют химически связанную воду и становятся хрупкими. Плавится хризотил при температуре около $1500\text{ }^\circ\text{C}$ [8].

1.2.2 Стабилизирующая добавка «Стилобит»

Производитель - ООО «Производственная компания «Стилобит»», г. Екатеринбург.

По внешнему виду «Стилобит» (Рисунок 2) представляет собой гранулы цилиндрической формы коричневого цвета; длина гранул составляет от 5 до 20 мм включительно, диаметр гранул – 4,5 или 6 мм с допустимым отклонением $\pm 0,5$ мм.



Рисунок 2 - Стабилизирующая добавка «Стилобит»

Стабилизирующая добавка «Стилобит» состоит из хризотилового и базальтового волокна, что положительно сказывается на физико-механических показателях ЩМА на ее основе. При этом стоит отметить, что в состав гранул входит дорожный битум, который зарекомендовал себя в качестве оптимального связующего.

- Уникальное хризотиловое волокно повышает усталостную прочность асфальтобетона.
- Базальтовое волокно создает эффект микроармирования и препятствует процессу образования колеи.
- Высокая термостойкость (до 700 °С), добавка не меняет своих свойств при перегреве.
- Стабилизатор не меняет свойств от повышенной влажности, что увеличивает срок его хранения и использования [9].

1.2.3 Стабилизирующая добавка «Гранулит-66»

Производитель – ООО «Риминвест», г. Нижний Новгород.

«Гранулит-66» (Рисунок 3) – это целлюлозная стабилизирующая добавка, которая осуществляет функцию «битумоносителя», что исключает стекание вяжущего составляющего при использовании ЩМА и транспортировке. Гранулит-66 содержит поверхностно-активные вещества, которые активизируют вяжущее. Модификаторы добавляют битуму пластичность и гибкость при низких температурах, что делает ЩМА устойчивым к различным деформациям и к механическим воздействиям, а также наделяет высокой прочностью.

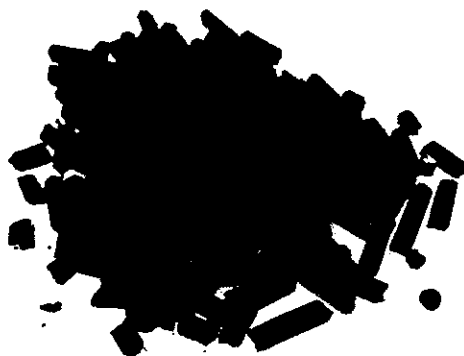


Рисунок 3 - Стабилизирующая добавка «Гранулит-66»

По внешнему виду представляет собой гранулы цилиндрической формы коричневого цвета [10].

2 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА БИТУМА

2.1 Методики испытаний

2.1.1 Определение глубины проникания иглы и индекса пенетрации

Сущность метода заключается в измерении глубины, на которую погружается игла пенетromетра в испытуемый образец битума при заданных нагрузках, температуре и времени.



Рисунок 4 – Пенетрометр ЛП

Глубина проникания иглы характеризует текучесть битума (величина обратной вязкости), т.е. чем больше вязкость, тем меньше проникание иглы в битум. Вязкость – сопротивление внутренних слоев битума относительно друг друга, зависящая главным образом от температуры и группового состава. При повышении температуры вязкость снижается, при ее понижении вязкость быстро возрастает, а при отрицательных температурах битум становится хрупким [11].

Предварительно подготовленный битум заливают в специальную чашку ($t=+160$ °С) на 5 мм ниже края, охлаждают при $t=(18-30)$ °С 60-90 минут. Помещают в термокриостат при заданной температуре +25 °С. Образцы ставят в сосуд $V=0,5$ дм³, уровень воды над битумом 10 мм, подводят иглу к поверхности битума и опускают свободно кремальеру на 5 секунд. Затем снимают отсчет. Определение повторяют не менее трех раз в различных точках на поверхности

образца битума, отстоящих от краев чашки и друг от друга не менее чем на 10 мм [12].

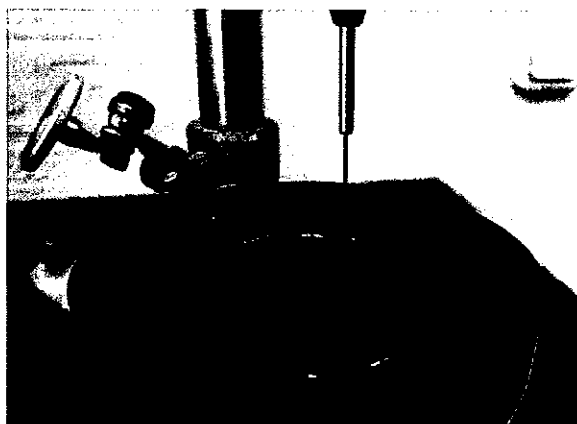


Рисунок 5 – Подготовка битума к определению глубины проникания иглы

Индекс пенетрации вычисляют по формуле и округляют до четвертого десятичного знака (1):

$$\text{ИП} = \frac{30}{1+50A} - 10, \quad (1)$$

где А - коэффициент, который вычисляют по формуле (2):

$$A = \frac{2,9031 - \log \Pi}{T - 25}, \quad (2)$$

где Π – глубина проникания иглы при 25 °С, равная 0,1 мм;
Т - температура размягчения битума, °С [13].

2.1.2 Определение температуры размягчения по кольцу и шару

Температурой размягчения битума условно считают температуру, при которой битум переходит из твердого состояния в пластичное, приобретая подвижность. Это свойство битума характеризует верхний температурный предел его применения.

Испытание проводится с использованием аппарата лабораторного автоматического для определения температуры размягчения нефтебитумов КиШ-20М4.

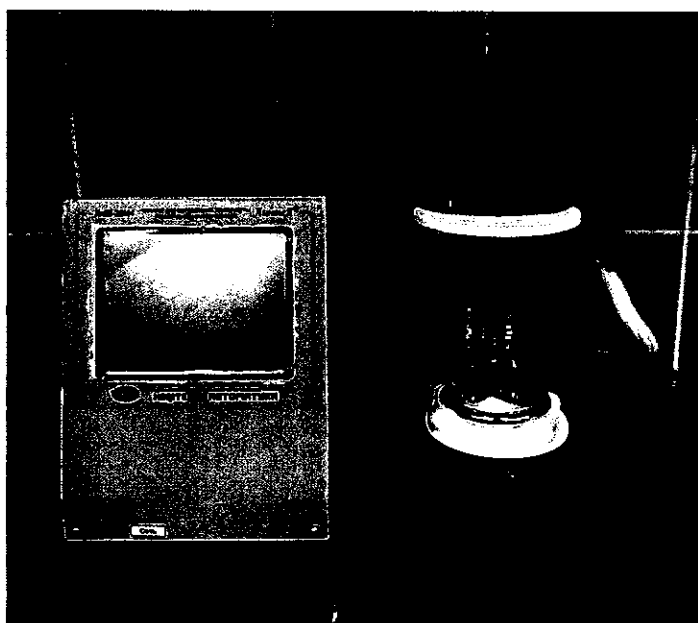


Рисунок 6 – Аппарат КиШ-20М4

Предварительно подготовленный битум заливают в латунные кольца. Охлаждают на воздухе 30 минут при $t=(25\pm 1)^\circ\text{C}$. Избыток битума срезают горячим ножом. Образцы вставляют в гнезда прибора и устанавливают термометр с ртутным шариком на уровне битума. Опускают в стакан с дистиллированной свежевскипяченной водой при $t=(5\pm 10)^\circ\text{C}$.

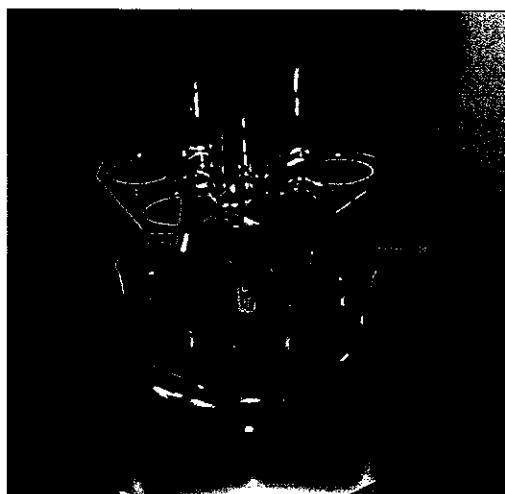


Рисунок 7 – Технологический блок аппарата КиШ-20М4

Через 15 минут штатив с кольцами вынимают и ставят по центру шарики, опускают в стакан с водой и начинают нагревать со скоростью $(5\pm 0,5)^\circ\text{C}/\text{мин}$. Воду помешивают, отмечают температуру, когда шарик продавит битум и коснется нижней полки прибора.

За температуру размягчения битума принимают среднее арифметическое значение двух параллельных определений, округленных до целого числа [14].

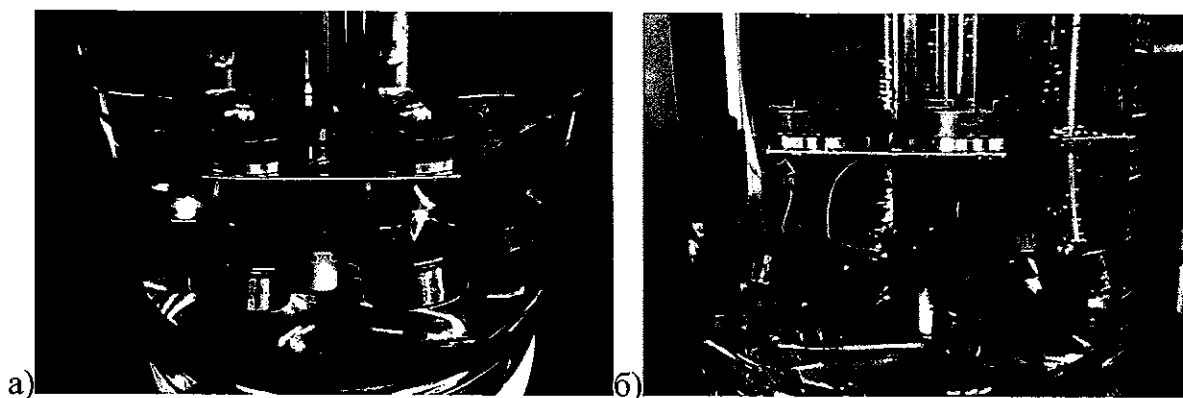


Рисунок 8 – Образцы битума (а) до и (б) после определения температуры размягчения

2.1.3 Определение температуры хрупкости

Две стальные пластинки тщательно промывают толуолом или керосином, высушивают и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г.

Испытанием на изгиб вручную устанавливают, в какую сторону изгибается стальная пластинка. Наносят $(0,40 \pm 0,01)$ г битума на выпуклую при изгибе сторону пластинки.

Пластинку с навеской битума кладут на верхнюю плитку устройства для расплавления битума и осторожно нагревают до тех пор, пока битум не растечется равномерно по поверхности пластинки.



Рисунок 9 – устройство подготовки проб

Защищенные от пыли пластинки с битумом выдерживают при комнатной температуре не менее 30 мин. В захваты устройства для сгибания вставляют

пластинку так, чтобы битумный слой был расположен наружу, опускаем узел деформации в нижнее положение.

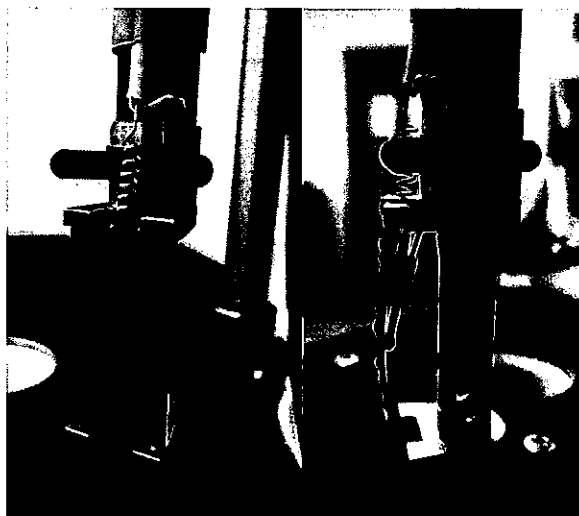


Рисунок 10 – Установка пластины в узел деформации



Рисунок 11 - Аппарат автоматический для определения температуры хрупкости нефтебитумов АТХ-20

Примерно через (10...12) минут установится скорость охлаждения образца 1 °С/мин, а по достижении температуры на 10 °С выше предполагаемой температуры хрупкости, произойдет первая деформация образца битума. Каждая следующая деформация будет проводиться после понижения температуры образца битума на 1 °С.

За результат испытания температуры хрупкости битума по Фраасу принимают среднее арифметическое значение результатов измерений, округленное до целого числа.

Два результата испытаний, полученные одним исполнителем на одном и том же испытательном оборудовании и пробе битума, признают достоверными (с вероятностью 95 %), если расхождение между ними не превышает 3 °С [15].

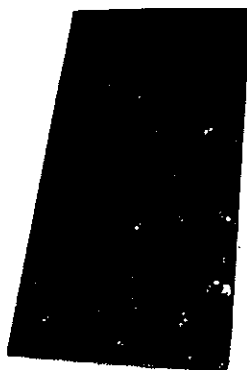


Рисунок 12 – Образец после испытания

Очевидно, что чем ниже температура хрупкости битума, тем больше его морозостойкость и выше качество.

2.1.4 Определение растяжимости

Пластичность является важным свойством битумов. Она повышается с увеличением содержания масел, длительности действия нагрузки и повышения температуры. Пластические свойства твердых и вязких битумов условно характеризуются растяжимостью (дуктильностью) — способностью вытягиваться в тонкие нити под действием внешних постоянных сил. Растяжимость определяют на специальном приборе — дуктилометре при скорости деформации образца битума в виде «восьмерки» 5 см/мин, температурах испытания 25 и 0 °С. Показателем растяжимости служит длина нити в момент разрыва образца, выраженная в сантиметрах. Пластические свойства битума зависят от температуры, группового состава и структуры. Так, например, с повышением содержания смол и асфальтенов пластичность при постоянной температуре битумов возрастает [11].

Растяжимость определяют на приборе дуктилометре ДБ-20-150-01.

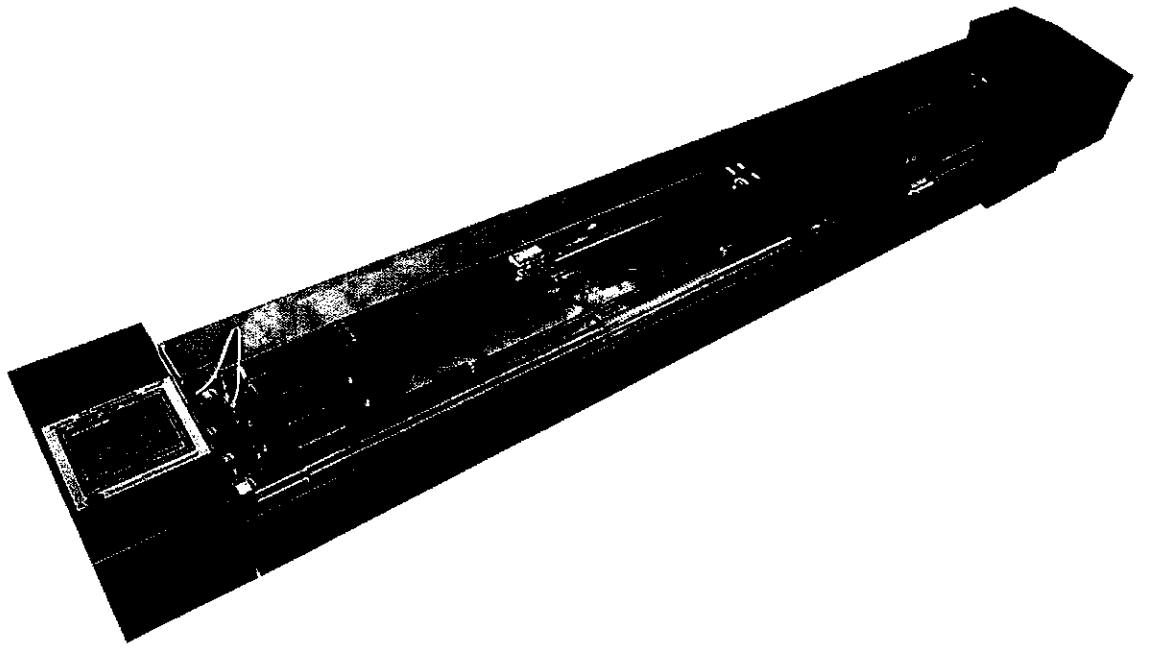


Рисунок 13 – Аппарат ДБ-20-150-01

Предварительно подготовленный битум заливают в формы «восьмерок», установленные на стекле и смазанные смесью талька и глицерина (1:3). Избыток битума, после охлаждения при $t=180\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30-40 минут, срезают горячим ножом движением от середины к краям. Формы на пластинках помещают в водяную баню $V > 10\text{ дм}^3$, уровень воды над битумом $> 25\text{ мм}$, $t_{\text{воды}}=(+25\pm 0,5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ или $(0\pm 0,5)\text{ }^{\circ}\text{C}$. Через 1 час формы-восьмерки устанавливают в дуктилометр. Снимают боковые части. После того, как они будут выдержаны при заданной температуре, начинают испытание.



Рисунок 14 – Подготовка образцов для определения растяжимости

Образцы битума помещают в дуктилометр. Боковые части формы снимаются. Испытанию подвергаются одновременно 3 образца. Вода в

дуктилометре должна быть не менее, чем на 2,5 см выше образцов. Устанавливают скорость 5 см/мин (при 25 °С) и включают мотор. Салазки начинают перемещаться с заданной скоростью, растягивая битумные образцы. В момент разрыва определяют по шкале длину нити в см, которая и является показателем растяжимости битума. Окончательный результат определяют, как среднее арифметическое испытания трех образцов битума на растяжимость [16].

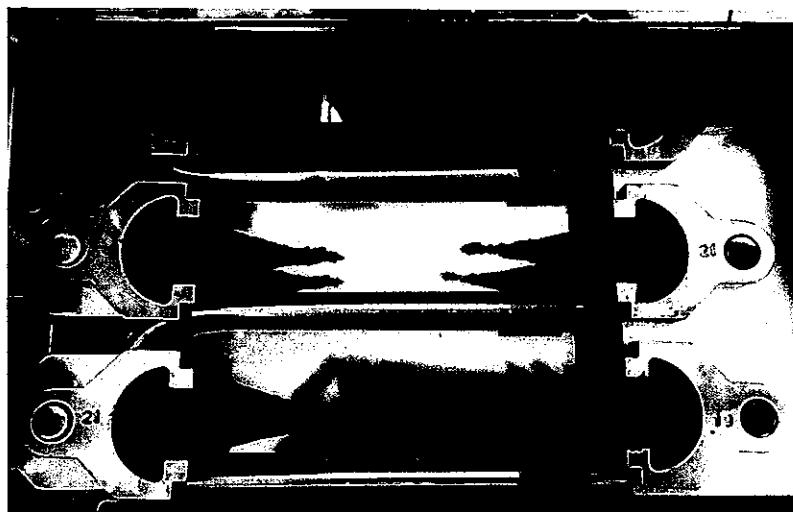


Рисунок 15 – Образцы после испытания

Результаты испытания представлены в таблице 2.

2.1.5 Определение температуры вспышки в закрытом тигле

Температура вспышки — температура, при которой пары образующиеся при нагревании битума в открытом тигле, воспламеняются от поднесенного пламени. Температуру вспышки определяют на стандартном приборе и отмечают по показанию термометра в момент вспышки паров битума. Температура вспышки характеризует степень огнеопасности битума при его разогреве [11].

Образцы очень вязких и твердых продуктов перед испытанием нагревают до достаточной текучести, но не выше температуры, которая на 17 °С ниже предполагаемой температуры вспышки.

Для проведения испытания тигель, заполненный продуктом до риски, с закрытой крышкой устанавливается на столик и вставляется по направляющим до упора в аппарат.

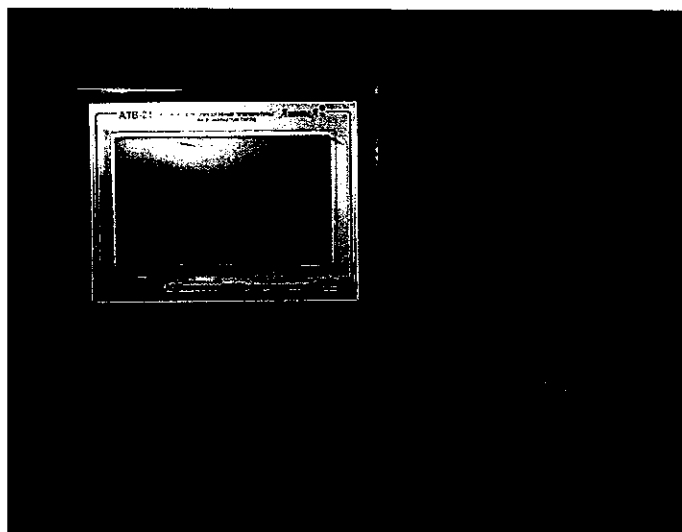


Рисунок 16 – Аппарата для определения температуры вспышки в закрытом тигле

АТВ 21



Рисунок 17 – Образец для испытания

При достижении температуры на $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже предполагаемой температуры вспышки, аппарат начинает производить испытания на вспышку через каждый $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре образца до $104\text{ }^{\circ}\text{C}$ (через каждые $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре образца свыше $104\text{ }^{\circ}\text{C}$), поддерживая нагрев пробы со скоростью $(5,5\pm 0,5)\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.



Рисунок 18 – Проведение испытания

За результат испытания принимают среднеарифметическое не менее двух последовательных определений. Полученное значение температуры вспышки округляют до целого числа [17].

2.1.6 Определения изменения массы и температуры размягчения после прогрева

Обезвоженный битум наливают в 2 стеклянные чашки по $(28 \pm 0,1)$ г. После охлаждения до комнатной температуры, чашки с битумом взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. Взвешенные чашки устанавливают на горизонтальную решетку сушильного шкафа, предварительно прогретого до $(163 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Далее чашки с битумом выдерживают при температуре $(163 \pm 1) ^\circ\text{C}$ в течение 5 часов. Затем чашки с битумом вынимают из сушильного шкафа, устанавливают в эксикатор, и после охлаждения до комнатной температуры взвешивают с погрешностью не более 0,01 г.

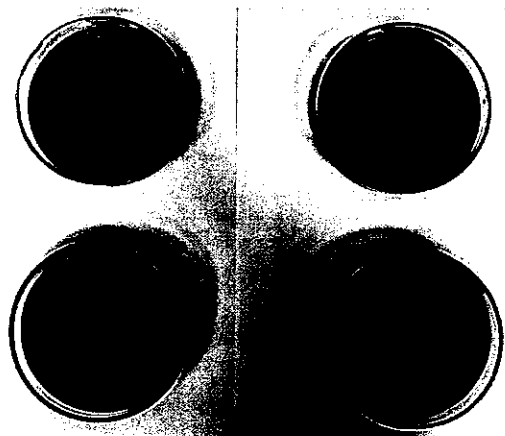


Рисунок 19 – Образцы для определения изменения массы после прогрева

Изменение массы битума после прогрева в процентах вычисляют по формуле (3):

$$X = \frac{(m - m_1) \cdot 100}{m}, \quad (3)$$

где m - масса битума до прогрева, г;
 m_1 - масса битума после прогрева, г [18].

Изменение температуры размягчения битума после прогрева вычисляли как разность температур размягчения до и после испытания на прогрев.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

По результатам испытаний составлена сравнительная таблица показателей определения физико-механических характеристик 2 марок битума с 3 добавками.

Таблица 2 - Сравнительная таблица физико-механических характеристик битума.

Наименование испытания	Битум 100/130				Битум 60/90			
	Без добавок	хризопро	стилобит	гранулит	Без добавок	хризопро	стилобит	гранулит
Глубина проникания иглы при 25 °С	100	70	71	76	70	69	65	70
Температура хрупкости	-21	-22	-20	-21	-19	-15	-16	-15
Растяжимость при 25 °С	82	9	12	19	112	13	13	13
Температуры вспышки	232	220	233	228	277	274	264	258
Температура размягчения	45,6	49,5	51,7	48,4	48,2	49,6	49,7	49,8
Изменение массы после прогрева	2,10	1,84	1,74	1,79	0,11	0,09	0,07	0,07
Изменение температуры размягчения после прогрева	13	11,7	6,7	10,5	5,9	5,7	6,3	4,7

Проанализировав результаты испытаний можно отметить, что при введении в битум марки 100/130 добавок «Хризопро», «Стилобит» и «Гранулит-66» глубина проникания иглы уменьшается на 30 %, 29 % и 24 % соответственно, с битумом марки 60/90 - на 1,4 %, 7,1 % и 0 %, в то время как его температура размягчения с битумом марки 100/130 увеличивается на 8,5 %, 13,4 % и 6,1 %, а с битумом марки 60/90 – на 2,9 %, 3,1 % и 3,3 %.

Кроме того наблюдается значительное уменьшение растяжимости материала, что объясняется наличием длинноволокнистой структуры с большим количеством микропучков волокон, увеличивающихся в объеме за счет проникновения битума внутрь волокон.

Повышение показателя температуры хрупкости обусловлено наличием твердой фазы в битуме, в результате чего, распределение пробы равномерным слоем на поверхности пластинки становится невозможным.

Стоит отметить, что битум марки 60/90 имеет минимальные потери массы после прогрева в течении 5 часов.

Не смотря на то, что по результатам полученных данных изменение свойств битумов с применяемыми добавками происходит равномерно, в качестве добавки в битум, повышающей эксплуатационные свойства асфальтобетона рекомендуется применять «Гранулит-66».

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА И СТОИМОСТИ ДОБАВОК С УЧЕТОМ ЗАТРАТ НА ТРАНСПОРТИРОВКУ НА УСТРОЙСТВО 1 КМ ДОРОГИ

Необходимо рассчитать расход добавок для укладки асфальтобетона на участке протяженностью 1 км.

Исходные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные

Наименование	Значение
Толщина слоя, h, м	0,05
Ширина полосы, a, м	3,5
Протяженность участка, l, м	1000
Плотность асфальтобетона, ρ , кг/м ³	2600

Объем необходимой асфальтобетонной смеси определяем по формуле (4)

$$V = h \cdot a \cdot l \quad (4)$$

$$V = 1000 \cdot 3,5 \cdot 0,05 = 175 \text{ м}^3$$

Требуемую массу смеси находим по формуле (5):

$$m = V \cdot \rho \quad (5)$$

$$m = 175 \cdot 2600 = 455000 \text{ кг} = 455 \text{ т}$$

Требуемое количество добавок представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Расход добавок

Наименование добавки	Расход, %	Количество, т
Хризопро	0,6 % (от массы смеси)	2,73
Стилобит	0,6 % (от массы мин. части)	2,57
Гранулит-66	0,6 % (от массы смеси)	2,73

Наименьший расход представляет стабилизирующая добавка «Стилобит».

В соответствии со Сборником ССЦ (средних сметных цен) Архангельской области (3 квартал 2018 года) перевозка 1 т груза 1 класса на 200 км составляет 1660,51 руб. Свыше 200 км за каждый км прибавляется по 7,03 руб.

Для расчета стоимости добавок с учетом затрат на транспортировку необходимо знать их отпускную цену, а также дальность перевозки. Данные параметры и итоговая стоимость представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Стоимость добавок с учетом затрат на транспортировки

Наименование добавки	Отпускная цена, руб/т	Дальность перевозки, км	Требуемое количество, т	Стоимость доставки, руб	Итоговая стоимость, руб
Хризопро, (г. Ясный, Оренбургская область)	35 000	2582	2,73	50 248,30	145 798,30
Стилобит (г. Екатеринбург)	39 500	1965	2,57	36 155,94	137 670,94
Гранулит-66 (г. Нижний Новгород)	37 000	1274	2,73	25 145,30	126 155,30

Наименьшую стоимость с учетом затрат на транспортировку добавки на устройство 1 км дороги имеет стабилизирующая добавка «Гранулит-66».

5 ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВКИ

Технологический процесс приготовления смеси в смесителях периодического действия включает следующие этапы:

- 1) Подготовка минеральных материалов (подача и предварительное дозирование, высушивание и нагрев до требуемой температуры, пофракционное дозирование)
- 2) Подача холодных минерального порошка и гранулированного стабилизатора, дозирование их перед введением в смеситель.
- 3) Подготовка битума (разогрев и подача при необходимости из битумохранилища в битумоплавильню, обезвоживание, нагрев до рабочей температуры).
- 4) Сухое перемешивание горячих минеральных материалов с холодным минеральным порошком и гранулированным стабилизатором.
- 5) Перемешивание минеральных материалов с битумом и выгрузка готовой щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси в накопительный бункер или автомобиля самосвалы.

При приготовлении ЦМА смеси в смесителях непрерывного действия нет необходимости в отдельном дозировании горячих минеральных материалов, а нагрев и перемешивание минеральных материалов с битумом и гранулированным стабилизатором осуществляется в одном сушильно-смесительном барабане.

Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси не подлежат длительному хранению и после приготовления транспортируются непосредственно к месту укладки.

В момент выгрузки в бункер асфальтоукладчика температура смеси должна быть не ниже 150 °С. Смесь должна непрерывно подаваться в бункер асфальтоукладчика, что создает условия для обеспечения ровности и однородности покрытия.

Укладку и уплотнение щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей необходимо проводить в соответствии с СП 78.13330.2012 [18] и Методическими

рекомендациями по устройству верхних слоев дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона [19].

В данном случае также нет необходимости в каком-то дополнительном оборудовании. Применяются обычные укладчики асфальтобетонной смеси и обычные катки - нужно лишь помнить, что используемые катки должны работать без виброуплотнения. Щебеночно-мастичная смесь относится к удобоукладываемым и удобоукатываемым смесям. В процессе укладки производителям дорожных работ приходится соблюдать следующие требования.

Укладчик не должен простаивать при укладке смеси, работая в непрерывном режиме. Уплотнение свежеложенной смеси должно производиться сразу после ее укладки. За укладчиком должен следовать статический каток весом до 10 т. Максимальное количество проходов катком - 6, хотя обычно для полной укатки уложенной смеси бывает достаточно и 4.

При уплотнении главное - добиться того, чтобы камень стал на камень, то есть замкнулась структурная цепочка скелета смеси. Дальше укатывать ее уже бесполезно. Более того, дальше просто начинается разрушение камня.

Температура при отгрузке – не более 170 °С, при укладке – не менее 145 °С (для битума 60/90). Для битума 90/130 – соответственно не более 165 °С и не менее 140 °С. Если температура уложенной смеси ниже, то уплотнить такую смесь уже довольно трудно [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работ по Государственному контракту от 26 июня 2017 г. № 399/08 были полностью решены все экспериментальные и методические задачи, поставленные в техническом задании:

1. Проведены испытания партий образцов битума на вязкость (пенетрацию), температуру размягчения, температуру вспышки, температуру хрупкости, растяжимость, изменение массы после прогрева, изменение температуры размягчения после прогрева.

В качестве добавки, повышающей эксплуатационные свойства асфальтобетона, рекомендуется применять «Гранулит-66».

2. Выполнено сравнение расхода и стоимости добавок с учетом затрат на транспортировку. Наименьшую стоимость имеет стабилизирующая добавка «Гранулит-66» и составляет 126 155,30 руб.

3. Настоящие выводы носят исключительно рекомендательный характер.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ярцев В.П. Эксплуатационные свойства и долговечность битумно-полимерных композитов: учеб.пособие для студентов / В. П. Ярцев, А. В. Ерофеев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 80 с.
- 2 Житов Р.Г. Получение и свойства полимер-битумных композитов: автореф. дис. на соискан. учен. степ. канд. хим. наук; Иркутский государственный университет. – Иркутск, 2013. – 20 с.
- 3 Мухаматдинов И.И. Битумные вяжущие, модифицированные катионоактивной адгезионной присадкой: автореф. дис. на соискан. учен.степ. канд. тех. наук; Казанский (Приволжский) федеральный университет. – Казань, 2015. – 22 с.
- 4 Баранов И.А. «Оценка эффективности стабилизирующих добавок для улучшения структуры и свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона»: диссертация кандидата технических наук: 05.23.05 / Баранов Игорь Александрович; [Место защиты:Ивановский государственный политехнический университет - ФГБОУ ВПО].- Иваново, 2015.- 176 с.;
- 5 Пат. 2273615 Российская федерация,МПК С04В26/26, С08L95/00. Стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичного асфальтобетона / Джазанян Э.С., Григорян А.Р., Мутафян К.С. - № 2004117759/03; заявл. 15.06.2004; опубл. 10.04.2006;
- 6 Старение битума [Электронный ресурс] – URL: <http://student-stroitel.ru/starenie-bituma/>
- 7 СТО 05029994-001-2016 Стабилизатор гранулированный (гранулированный в связанном виде) "Хризопро" для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Технические условия. - Введ. 2016-04-12. – г. Ясный.:
ОАО "Оренбургские минералы";
- 8 Хризотилковое волокно [Электронный ресурс] – URL: <http://orenmin.ru/mineral/hrizotil/>;
- 9 Стилобит [Электронный ресурс] – URL: <http://www.stilobit.ru/production/stilobit/>;

- 10 «Гранулит-66» стабилизирующая добавка для ЦМА [Электронный ресурс] – URL: <https://www.granulit66.ru/>;
- 11 Битумы нефтяные, состав, структура и свойства [Электронный ресурс] – URL: <http://www.materialsworld.ru/8/bitum.php>
- 12 ГОСТ 33136-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения глубины проникания иглы. - Введ. 2015-12-01. - М.: Стандартинформ, 2015
- 13 ГОСТ 33134-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Определение индекса пенетрации (с Поправкой) - Введ. 2015-10-01. - М.: Стандартинформ, 2015
- 14 ГОСТ 11506-73 Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. - Введ. 1973-07-18. - М.: Изд-во стандартов, 1973
- 15 ГОСТ 33143-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу. - Введ. 2015-10-01. - М.: Стандартинформ, 2015
- 16 ГОСТ 33138-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения растяжимости (с Поправкой).- Введ. 2015-10-01. - М.: Стандартинформ, 2015
- 17 ГОСТ 6356-75 Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле (с Изменениями N 1, 2, 3). - Введ. 1977-01-01. - М.: Стандартинформ, 2006
- 18 СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85
- 19 Методические рекомендации по устройству верхних слоев дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЦМА), г. Москва, 2002
- 20 О щебеночно-мастичном асфальтобетоне [Электронный ресурс] – URL: <http://www.nestor.minsk.by/sn/2000/42/sn04212.html>