

Для цитирования: С.А. Иванов. Перспективы применения битума модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (2):131-143. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-131-143

For citation: S.A. Ivanov. Prospects for the use of bitumen modified with rubber granulate in a Two-Stage technological process. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47(2):131-143. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-131-143

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.162

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-131-143

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИТУМА МОДИФИЦИРОВАННОГО РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ ПРИ ДВУХСТАДИЙНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

С.А. Иванов

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28 г., Россия

Резюме. Цель. Цель исследования состоит в поиске методов повышения качества битумных вяжущих путем их модификации. **Метод.** Применен метод регулирования процесса деформации резиновой крошки в промышленных масштабах при чувствительном ее физико-химическом взаимодействии с пластифицированным битумом при температуре технологического процесса 230°C. **Результат.** В статье приведены данные о состоянии вопроса исследований по модифицированию битума нефтяного дорожного вязкого различными полимерами, а в частности, резиновой крошкой, полученной из отходов переработки резинотехнической промышленности. Представлен процесс получения битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе. Произведена оценка зависимостей физико-химических параметров вяжущего от технологических режимов. Приведены результаты исследований по оценке структуры модифицированного вяжущего, а также резиновой крошки до и после термомеханической обработки. Представлены сравнения физико-химических свойств битумов, модифицированных различной резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, с аналогами. **Вывод.** Двухстадийный технологический процесс модификации битумов резиновой крошкой способствует повышению гомогенности системы и формированию дисперсного каркаса, армирующего вяжущее, что в целом обуславливает получение вяжущего, обладающего улучшенными физико-химическими характеристиками. Частицы резиновой крошки придают повышенную температурную устойчивость и эластичность модифицированным битумам посредством мельчайших выпуклостей на поверхности частиц.

Ключевые слова: битум, резиновая крошка, модификация, структура, свойства, анализ

PROSPECTS FOR THE USE OF BITUMEN MODIFIED WITH RUBBER GRANULATE IN A TWO-STAGE TECHNOLOGICAL PROCESS

S.A. Ivanov

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
28 g Vesennyya St., Kemerovo 650000, Russia

Abstract. Aim. This study was aimed at developing methods for improving the quality of bituminous binders by means of their modification. **Methods.** A method for regulating the process of deforming rubber granulate on an industrial scale, under which rubber granulate undergoes physical and chemical interactions with plasticized bitumen at a temperature of 230°C, was applied. **Results.** The article reviews existing publications devoted to the modification of petroleum road viscous bitumen with various polymers, in particular with rubber granulate obtained by processing waste of the

rubber industry. The process of obtaining bitumen modified with rubber granulate through a two-stage technological process is described. The dependence of the physical and chemical parameters of the binder on the technological modes is estimated. The results of evaluating the structure of a modified binder, as well as the rubber granulate before and after thermomechanical processing, are presented. A comparison of the physical and chemical properties of bitumen modified with various rubber-granulate forms in a two-stage technological process with analogue products is presented. **Conclusion.** The proposed two-stage technological process of modifying bitumen with rubber granulate increases the homogeneity of the system and facilitates the formation of a dispersed framework reinforcing the binder, which leads to the production of a binder with improved physical and chemical characteristics. Rubber granulates impart an increased temperature stability and elasticity to the modified bitumen by means of forming tiny bumps on the surface of the particles.

Keywords: bitumen, rubber granulate, modification, structure, properties, analysis

Введение. Для устройства автомобильных дорог капитального и усовершенствованного типов в мировой практике наибольшее распространение получили асфальтобетонные смеси. Совершенствованию асфальтобетонных покрытий посвящены работы авторов многочисленных исследований [1-18]. Объясняется это отсутствием необходимости в устройстве технологического перерыва для набора прочности и формирования структуры материала, высокой скоростью укладки, легкостью ремонта, коррозионной стойкостью, износостойкостью и атмосферостойкостью. Кроме того, отсутствие в покрытиях из таких материалов деформационных швов, а также их макрошероховатая текстура поверхности благоприятно сказываются на комфорте и безопасности движения.

Между тем асфальтобетонные покрытия имеют ряд недостатков, свойственных для нежестких дорожных одежд, в том числе зависимость их физико-механических и деформационных свойств от температуры наружного воздуха, что заставляет вводить сезонные ограничения для движения автотранспортных средств с повышенной осевой нагрузкой, снижение до 10 раз несущей способности при статической нагрузке по сравнению с динамической, что вызывает пластические деформации материала в городских условиях, особенно на участках перед перекрестками, а также повышенное трещинообразование в условиях резкоконтинентального климата, характеризующегося значительным суточным перепадом температур воздуха.

Постановка задачи. Цементобетонные покрытия могли бы устранить указанные выше недостатки, однако их массовое применение сдерживается группой факторов, основными из которых являются обязательность устройства деформационных швов, микрошероховатая текстура поверхности, снижающая коэффициент сцепления колеса с покрытием, сложность ремонта, обязательность технологического перерыва для набора прочности, создающего трудности для пропуска транзитного транспорта при ремонте и реконструкции. Несмотря на то, что расчетный срок службы дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием составляет от 10 до 20 лет, фактический срок службы зачастую не превышает 3-9 лет [19,20]. Это свидетельствует о необходимости проведения дополнительных исследований и разработок, направленных на повышение срока службы.

Федеральное дорожное агентство для совершенствования асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог утвердило план внедрения в России системы проектирования асфальтобетонной смеси Superpave, который предусматривает, в том числе, выбор битумного вяжущего для заданных условий эксплуатации [21]. В соответствии с ним для Кузбасса, например, интервал пластичности вяжущего должен составлять 110-115°C [22], в то время как интервал пластичности большинства битумов марки БНД 90/130, выпускаемых в Российской Федерации,

составляет 65-70°C. Эти данные свидетельствуют о том, что без модификации битумов внедрять систему Supergravel в России будет невозможным.

Анализ состава полимерасфальтобетонов, регламентированных в диссертации канд., тех., наук Андриади Ю.Г. [23], показывает, что основной акцент сделан не на минеральную часть, а на вяжущее и требования, предъявляемые к нему. Действительно, еще в середине 80-х годов прошлого столетия отмечали, что именно качество и долговечность нефтяных битумов определяет большинство физико-механических, технологических и эксплуатационных характеристик битумо-минеральных смесей и может служить основой для повышения срока службы асфальтобетонов [24].

Таким образом, для внедрения в практику полимерасфальтобетонов и системы проектирования состава асфальтобетонной смеси Supergravel необходимо совершенствование асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог, а, следовательно, повышения качества битумных вяжущих путем их модификации.

Методы исследования.

1. Влияние температуры и числа стадий на эффективность процесса модификации битумов резиновой крошкой и их рабочую температуру. Для оценки влияния температуры на эффективность процесса модификации битумов резиновой крошкой на основе анализа данных библиографических источников, а также собственных предварительных экспериментов, было принято решение назначить равной 200°C, 230°C и 260°C.

Технологический процесс получения битума модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, состоял из следующих этапов:

1. В дисперсионную среду, нагретую до температуры 200±5, 230±5 и 260±5°C и состоящую из 50 % битума и 12,5 % нефтяного масла, при постоянном перемешивании добавляли резиновую крошку в количестве 37,5 %, имеющую комнатную температуру.

2. Смесью при постоянном перемешивании выдерживали при заданной температуре от 0,25 до 5,75 часа с интервалом 0,50 часа с получением концентрированной суспензии резино-битумного композита.

3. Отключали нагревательные элементы и в концентрированную суспензию резинобитумного композита в количестве 52,5 % при постоянном перемешивании добавляли битум, имеющий температуру 100-110°C, в количестве 47,5 % и смесь выдерживали в течение 0,25-0,50 часа с получением модифицированного вяжущего.

Результаты определения физико-химических свойств битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, представлены в табл. 1.

В ходе проведенного эксперимента было выявлено, что при температуре 200°C процесс пластификации резиновой крошки протекает настолько медленно, что назначать такую температуру экономически не целесообразно. Даже при времени технологического воздействия более 5 часов наблюдается слабое взаимодействие резиновой крошки с пластифицированным битумом, и она, лишь немного набухая, выступает, в основном, в качестве наполнителя.

Этим обусловлено резкое снижение пенетрации и повышение температуры размягчения по кольцу и шару, то есть изменение физико-химических свойств битума, модифицированного резиновой крошкой, при данной температуре технологического процесса обусловлено не столько физико-химическим взаимодействием резиновой крошки с элементами группового состава пластифицированного битума, сколько наличием твердых включений, изменяющих условия проведения лабораторных испытаний.

При температуре 260°C пластификатор начинает выгорать, а пластификация резиновой крошки происходит настолько быстро, что регулировать такой процесс на производстве в реальных условиях практически не возможно. Резиновая крошка при данной температуре начинает очень быстро распадаться на отдельные компоненты, в том числе с образованием низкомолекулярных углеводородов, значительно разжижающих конечный продукт. Это подтверждается, в том числе, значительным снижением температуры размягчения по кольцу и шару и увеличением пенетрации битума, модифицированного резиновой крошкой.

Таблица 1. Физико-химические свойства исходного битума и битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном процессе
Table 1. Physical and chemical properties of the original bitumen and bitumen modified with crumb rubber in a two-stage process

Время приготовления, ч Cooking time, h	Наименование показателя Indicator name								
	П25	П0	Д25	Д0	Э25	Э0	КиШ	Хр	ΔКиШ
Исходный битум марки БНД 60/90 Initial bitumen grade BND 60/90									
-	61	26	71	4,0	-	-	53	-19,0	2
Битум, модифицированный резиновой крошкой, при температуре технологического процесса 200°C Bitumen modified with crumb rubber, at a process temperature of 200 ° C									
5,25	25	10	13,2	9,1	80	64	69	-19,0	0
5,75	24	13	14,7	9,8	85	62	68	-20,5	1
Битум, модифицированный резиновой крошкой, при температуре технологического процесса 230°C Bitumen modified with crumb rubber at a process temperature of 230 ° C									
0,25	30	18	9,1	7,0	90	93	64	-18,0	4
0,75	33	21	12,9	7,1	88	87	58	-18,0	4
1,25	40	24	11,9	9,2	90	73	63	-19,5	5
1,75	45	26	13,5	7,2	87	65	61	-20,0	4
2,25	52	31	11,4	6,5	89	55	67	-23,0	-2
2,75	57	25	10,3	8,0	85	58	68	-25,0	-1
3,25	61	27	13,4	7,5	89	65	67	-25,0	1
3,75	63	25	12,8	8,5	84	53	65	-25,5	1
4,25	58	33	14,4	8,0	85	48	61	-25,5	1
4,75	55	33	12,0	6,7	86	48	60	-25,5	1
5,25	62	34	14,0	7,5	82	48	58	-26,0	2
5,75	65	38	14,8	5,9	85	29	56	-26,5	2
Битум, модифицированный резиновой крошкой, при температуре технологического процесса 260°C Bitumen modified with crumb rubber at a technological process temperature of 260 ° C									
0,25	100	32	25,6	4,6	88	85	49	-19,0	-2
0,75	118	38	35,1	7,0	75	68	35	-21,0	2
1,25	111	56	30,3	9,0	83	54	38	-22,5	1
1,75	166	51	21,3	10,6	86	51	41	-21,5	0,5

Примечание: Note:

П25 – глубина проникания иглы при температуре 25°C, доли мм; P25 - penetration depth of the needle at a temperature of 25 ° C, fraction of mm;

П0 – глубина проникания иглы при температуре 0°C, доли мм; P0 is the depth of penetration of the needle at a temperature of 0 ° C, fraction of mm;

Д25 – растяжимость при температуре 25°C, см; D25 - extensibility at a temperature of 25 ° C, cm;

Д0 – растяжимость при температуре 0°C, см; D0 - extensibility at a temperature of 0 ° C, cm;

Э25 – эластичность при температуре 25°C, %; E25 - elasticity at a temperature of 25 ° C, %;

Э0 – эластичность при температуре 0°C, %; E0 - elasticity at a temperature of 0 ° C, %;

КиШ – температура размягчения по кольцу и шару, °C; КиШ - softening temperature along the ring and ball, °C;

ΔКиШ – изменение температуры размягчения по кольцу и шару после прогрева, °C; ΔKiSh - change in the softening temperature along the ring and ball after heating, °C;

ΔМ – изменение массы после прогрева, %; ΔM is the change in mass after heating, %;

Хр – температура хрупкости по Фраасу, °C. Хр - temperature of brittleness according to Fraas, °C.

Значения полученных экспериментов взяты как среднеарифметическое значение повторяющихся измерений в количестве не менее трех раз для получения заданного уровня надежности. The values of the obtained experiments are taken as the arithmetic mean of repeated measurements at least three times to obtain a given level of reliability.

Обсуждение результатов. Регулирование процесса деструкции резиновой крошки в промышленных масштабах при чувствительном ее физико-химическом взаимодействии с пластифицированным битумом возможно при температуре технологического процесса 230°C. При данной температуре с постепенным увеличением времени воздействия пенетрация битума, модифицированного резиновой крошкой, постоянно растет, что свидетельствует о пластификации и частичном растворении резиновой крошки.

Анализ данных показывает, что при температуре 230°C и времени технологического процесса 15 минут резиновая крошка пластифицируется и растворяется сильнее, чем при температуре 200°C и времени воздействия более 5 часов. Зависимости физико-химических свойств битума, модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре

230°C приведены на рис. 1-4 (условные обозначения аналогичны тем, которые приведены в табл. 1).

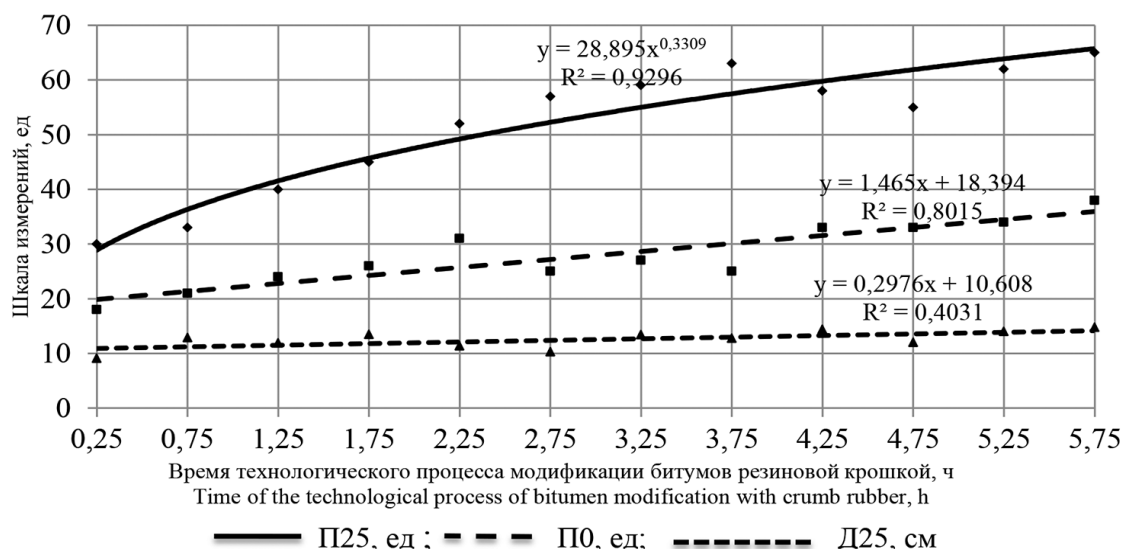


Рис. 1. Зависимости глубины проникания иглы при температурах 25°C и 0°C, а также растяжимости при температуре 25°C битума, модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре 230°C

Fig. 1. Dependences of the penetration depth of the needle at temperatures of 25°C and 0°C, as well as the extensibility at a temperature of 25°C of bitumen modified with crumb rubber, on the time of the technological process at a temperature of 230°C

Анализ данных, представленных на рис. 1, показывает, что с увеличением времени технологического процесса происходит постепенное замедление скорости роста глубины проникания иглы при 25°C, а также стабильный рост глубины проникания иглы при температуре 0°C и, хотя и не значительный, но все же рост растяжимости при 25°C. Обусловлено это, скорее всего, постепенной деструкцией резиновой крошки с течением времени с соответствующим уменьшением размера самих частиц. Данные преобразования в структуре битума, модифицированного резиновой крошкой, ведут к снижению влияния крупных включений резиновых частиц на условия проведения лабораторных испытаний в связи с уменьшением их размеров с высвобождением каучука и прочих составляющих компонентов.

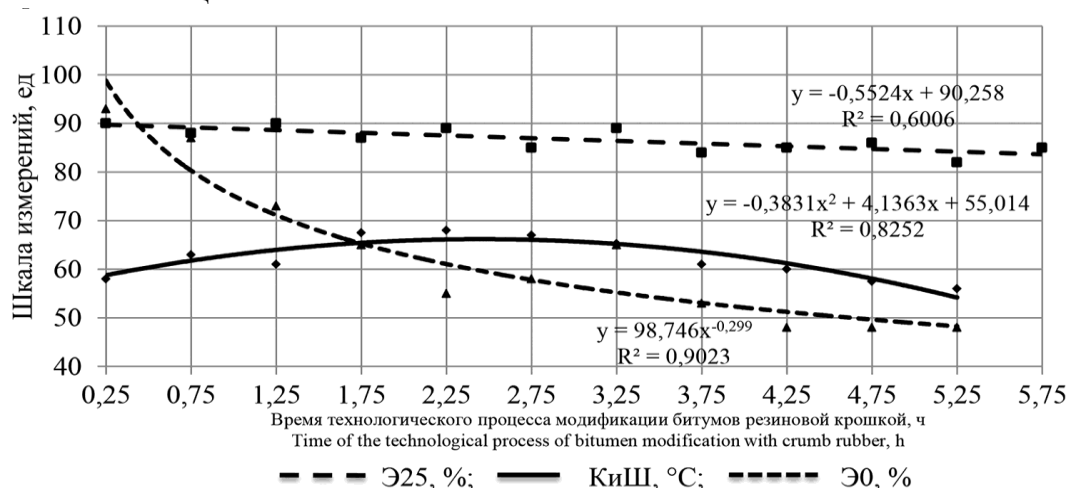


Рис. 2. Зависимости эластичности при температурах 25°C и 0°C, а также температуры размягчения по кольцу и шару битума, модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре 230°C

Fig. 2. Dependences of elasticity at temperatures of 25°C and 0°C, as well as the softening temperature along the ring and ball of bitumen modified with crumb rubber, on the time of the technological process at a temperature of 230°C

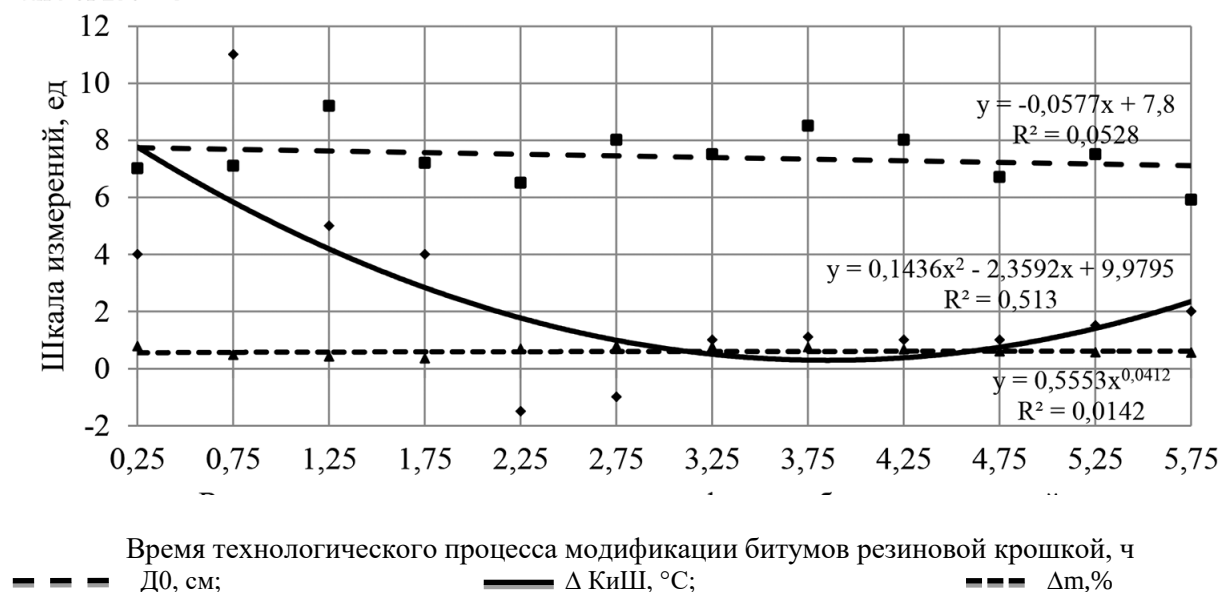


Рис. 3. Зависимости растяжимости при температуре 0°C, изменения температуры размягчения по кольцу и шару после прогрева и изменения массы после прогрева битума, модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре 230°C

Fig. 3. Dependences of extensibility at a temperature of 0°C, changes in softening temperature along the ring and ball after heating and changes in weight after heating bitumen modified with crumb rubber, from time technological process at a temperature of 230°C

Так как коэффициент детерминации зависимостей растяжимости при температуре 0°C и изменения массы после прогрева битума, модифицированного резиновой крошкой, в зависимости от времени технологического процесса достаточно мал, то характеризовать данные зависимости не имеет смысла. Здесь важнее численные значения данных параметров, которые составляют 7-8 см для растяжимости при температуре 0°C и 0,30-0,80 % для изменения массы после прогрева.

Если для первого показателя рост численного значения относительно исходного битума косвенно свидетельствует о снижении температуры хрупкости битума модифицированного резиновой крошкой (снижение их жесткости и вязкости при пониженных температурах), то увеличение показателя изменения массы после прогрева характеризует получение более нестабильной по сравнению с исходным битумом системы, в которой достаточно быстро протекают процессы окисления. Конечно, это минус для битума, модифицированного резиновой крошкой, но если дополнительно проанализировать зависимость изменения температуры размягчения по кольцу и шару после прогрева от времени технологического процесса, то можно утверждать, что при времени до 3,0-3,5 часов скорость протекания процесса деструкции резиновой крошки превосходит скорость процесса окисления пластифицированного битума, а, значит, изменение массы после прогрева, в этом случае, не имеет первостепенного значения.

Несмотря на достаточно большое значение изменения массы после прогрева, битум, модифицированный резиновой крошкой, в течение нескольких лет не перейдет в твердое состояние и не потрескается, так как продолжающийся процесс растворения резиновой крошки (постепенное высвобождение оставшегося в резиновой крошке каучука) будет пластифицировать вяжущее.

С увеличением времени технологического процесса происходит постепенное замедление скорости падения эластичности при 0°C, а также стабильное падение эластичности при 25°C. Данный факт обусловлен, скорее всего, тем, что вначале резиновые частицы имеют достаточно большой размер и в ходе проведения испытания выстраиваются в нить чередующихся сегментов резиновой крошки и битумного вяжущего (это объясняет значительно меньшую растяжимость битума модифицированного резиновой крошкой при 25 °C относительно исходных битумов в связи с образованием концентраторов напряжений), при обрыве которой растянутые

резиновые частицы, возвращаясь к исходной форме, «подтягивают» за собой и сегменты пластифицированного битумного вяжущего.

С уменьшением размера частиц уменьшаются и объемы упругих деформаций, что вызывает снижение эластичности битума, модифицированного резиновой крошкой. В то же время высвобождаемые отдельные фрагменты (нити) полимера, образованные из молекул каучука при их разрыве, при проведении испытания растягивается подобно пружинам, вызывая повышенную эластичность, что подтверждается наличием эластичности у битума, модифицированного резиновой крошкой, при температуре технологического процесса 260°C, так как резиновые частицы в этом случае практически полностью растворяются. Таким образом, эластичность битума модифицированного резиновой крошкой обуславливается упругими деформациями резиновых частиц и фрагментами обрывками молекул полимера, высвободившегося из них. С увеличением времени технологического процесса размеры резиновых частиц уменьшаются, а высвободившийся каучук начинает распадаться, что вызывает снижение эластичности.

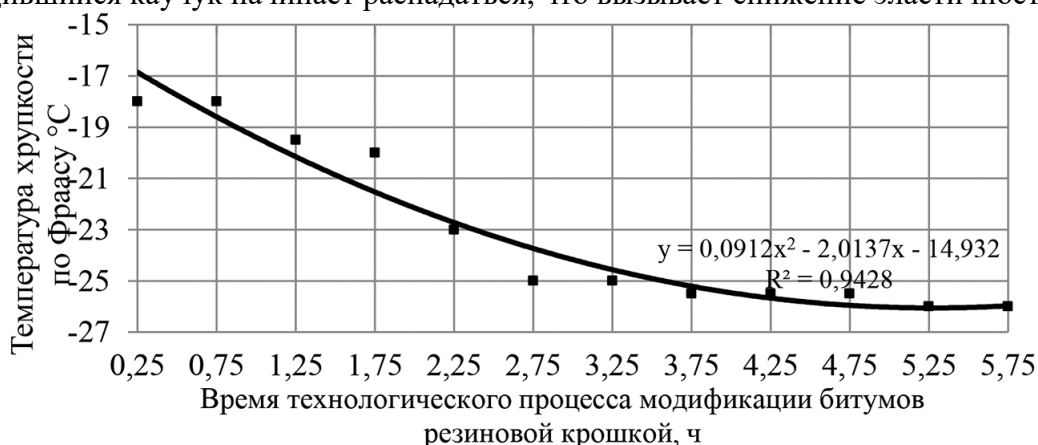


Рис.4. Зависимость температуры хрупкости битума модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре 230°C

Fig. 4. Dependence of the brittleness temperature of bitumen modified with crumb rubber, from the time of the technological process at a temperature of 230°C

Температура хрупкости по Фраасу снижается с увеличением времени технологического процесса модификации битумов резиновой крошкой и стабилизируется по истечении 5-6 часов, что объясняется увеличением объема фрагментов полимера с течением времени, а также ростом количества образующихся низкомолекулярных, в том числе летучих, углеводородов. Если время технологического процесса будет более 6 часов, то, скорее всего, температура хрупкости начнет повышаться, так как легколетучие углеводороды испарятся, а оставшиеся легкие фракции путем присоединения молекул кислорода (окисления) будут переходить в более тяжелые компоненты, как известно, ведущие к повышению температуры размягчения по Фраасу.

Произведя анализ зависимостей необходимо определиться, какие физико-химические показатели необходимо принять в качестве факторов, определяющих рациональное время технологического процесса модификации битумов резиновой крошкой. При максимальном содержании каучука битум, модифицированный резиновой крошкой должен иметь максимальный интервал пластичности.

Действительно, из представленных выше зависимостей только три имеют (в случае экстраполяции должны иметь) экстремум: зависимости температуры размягчения по «Кольцу и шару», температуры размягчения по «Кольцу и шару» после прогрева и температуры хрупкости по Фраасу от времени технологического процесса модификации битумов резиновой крошкой. Две из них, а именно зависимости температуры размягчения по «Кольцу и шару» и температуры хрупкости по Фраасу от времени технологического процесса модификации битумов резиновой крошкой, определяют интервал пластичности вяжущего, а, значит, по зависимости интервала пластичности можно определить оптимальное время процесса совмещения резиновой крошки с пластифицируемым битумом. Данная зависимость представлена на рис. 5.

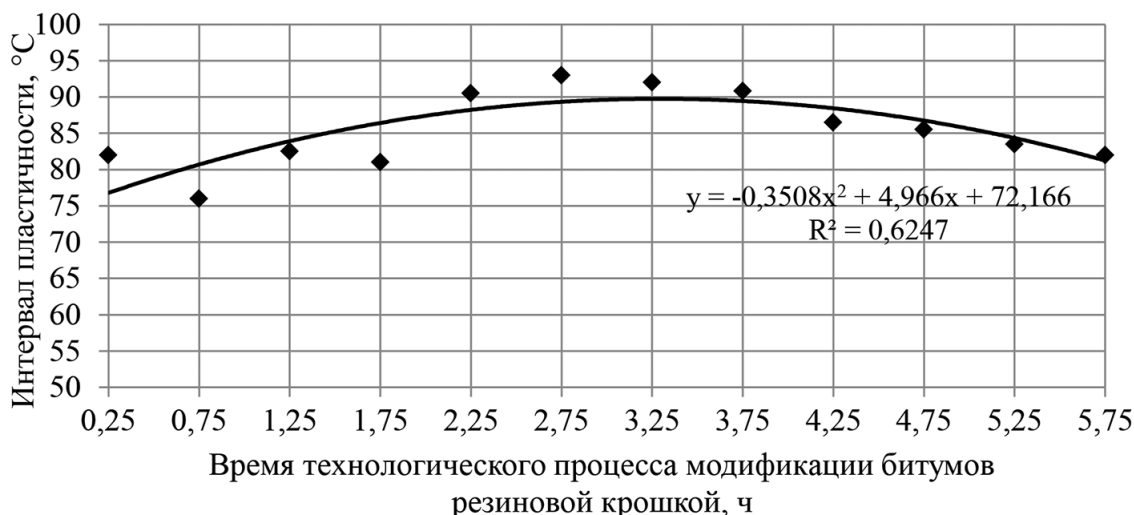


Рис. 5. Зависимость интервала пластичности битума модифицированного резиновой крошкой, от времени технологического процесса при температуре 230°C

Fig. 5. Dependence of the plasticity interval of bitumen modified with crumb rubber, on the time of the technological process at a temperature of 230°C

Анализ зависимости, представленной на рис.5, показывает, что при заданных факторах эксперимента оптимальное время технологического процесса модификации битума резиновой крошкой, составляет 3,25 часа. Изменение времени в большую или меньшую стороны ведет к снижению интервала пластичности модифицированного битума, однако это изменение незначительно. Если принять, что допустимое снижение интервала пластичности битума, модифицированного резиновой крошкой, по сравнению с экстремумом может составлять 5% (в соответствии с результатами представленного эксперимента это 4,5°C), то можно получить допустимый интервал времени технологического процесса совмещения резиновой крошки с пластифицированным битумом. В представленном случае это 3,25±1,5 часа.

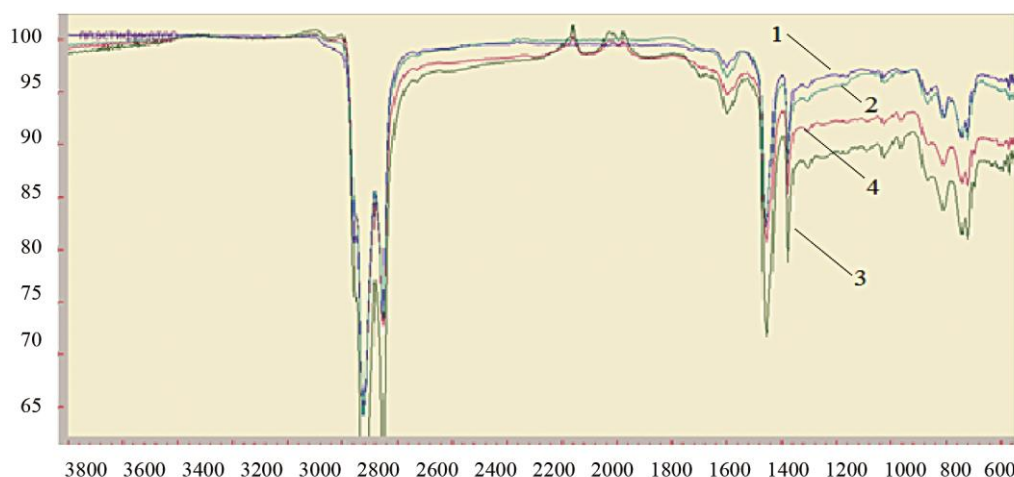
Таким образом, эффективность технологического процесса модификации битумов резиновой крошкой достигает наибольшего значения при температуре 230±5°C, при этом рекомендуемая длительность должна составлять 3,25±1,5 часа.

2. Оценка структуры битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе.

Битумы представляют собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов нефтяного происхождения, в том числе нафтеновых (C_nH_{2n}), ароматических (C_nH_{2n-6}) и метановых (C_nH_{2n+2}) рядов, а также их производных, содержащих кислород, серу, азот и комплексные соединения металлов. Оценка структурно-группового состава битумов производилась методом инфракрасной спектроскопии (ИК) на сканирующем электронном микроскопе JSM 6480 LV. Сравнение ИК-спектров битума, модифицированного резиновой крошкой, при двухстадийном технологическом процессе и одностадийном технологическом процессе, относительно исходного битума и масла-пластификатора, показал идентичность расположения пиков, за исключением пиков, входящих в интервал от 1950 до 2300 cm^{-1} (рис. 6).

В результате проведенных исследований все образцы показали наличие пиков, характерных для битумных вяжущих в области от 2750 до 2900 cm^{-1} . Указанные полосы всегда присутствуют в спектрах предельных углеводородов, парафинов, масел.

Также стоит отметить наличие характерной группы пиков в области от 790 до 910 cm^{-1} — признак наличия ароматических структур. Полоса 1600 cm^{-1} характеризует валентные колебания непредельных $C=C$ связей, как правило, циклического строения.



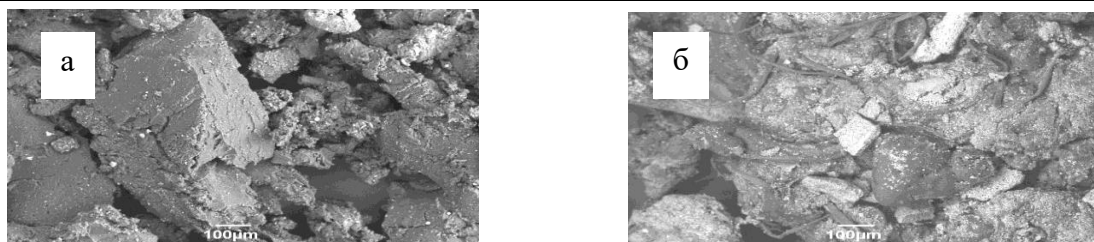
- 1 – ИК-спектр масла-пластификатора ПН-6Ш;
- 2 – ИК-спектр исходного битума марки БНД 60/90;
- 3 – ИК-спектр битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе;
- 4 – ИК-спектр битума, модифицированного резиновой крошкой при одностадийном технологическом процессе.
- 1 - IR spectrum of PN-6Sh oil-plasticizer;
- 2 - IR spectrum of the original bitumen grade BND 60/90;
- 3 - IR spectrum of bitumen modified with crumb rubber in a two-stage technological process;
- 4 - IR spectrum of bitumen modified with crumb rubber in a one-stage technological process.

Рис. 6. ИК-спектры битумов, модифицированных резиновой крошкой при одностадийном и двухстадийном технологическом процессе, исходного битума марки БНД 60/90 и масла-пластификатора ПН-6Ш

Fig. 6. IR spectra of bitumen modified with crumb rubber in a one-stage and two-stage technological process, initial bitumen grade BND 60/90 and plasticizer oil PN-6Sh

Анализ приведенных спектров указывает на повышенное содержание в модифицированном битуме высокомолекулярных асфальтенов с некоторым увеличением структурирующих смол, так как наблюдается усиление полос поглощения карбонильной группы при 1590 см^{-1} . Очевидная особенность отличительных характеристик пиков наблюдается в интервале от 1950 до 2190 см^{-1} для битума, модифицированного резиновой крошкой при одно- и двухстадийном технологическом процессе, которое соответствует наличию в модифицированном битуме каучуковых соединений.

Таким образом, изменение физико-химических свойств битумов, модифицированных резиновой крошкой обусловлено, вероятнее всего, формированием в них дисперсного каркаса из-за частичной деструкции резиновой крошки. Принципиальных отличий между битумами, модифицированными резиновой крошкой, при одностадийном и двухстадийном технологическом процессе, при помощи ИК-спектроскопии не выявлено, следовательно, для обоснования изменения физико-химических и технологических свойств необходимы дополнительные методы исследования. Поскольку битум, модифицированный резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе является гетерогенной системой, необходимо было выяснить каким образом резиновая крошка контактирует с дисперсионной средой (битумом и маслом-пластификатором). Для этого с помощью электронного сканирующего микроскопа фирмы Jeol JSM-6390 LA были получены снимки поверхности резиновой крошки (рис. 7, 8). На рис. 7 можно отчетливо наблюдать, что резиновая крошка после термомеханической обработки претерпела значительные изменения в плане реорганизации своего внешнего состояния. Ожидается она под воздействием высокой температуры оплавилась по краям, разрозненные частицы частично слиплись между собой. При максимальном увеличении (рис. 8) можно отчетливо наблюдать, что поверхность резиновых частиц имеет мельчайшие выпуклости, которые обуславливают их развитую удельную поверхность, а, следовательно, и более тесное контактирование поверхности резиновой крошки с компонентами битума.

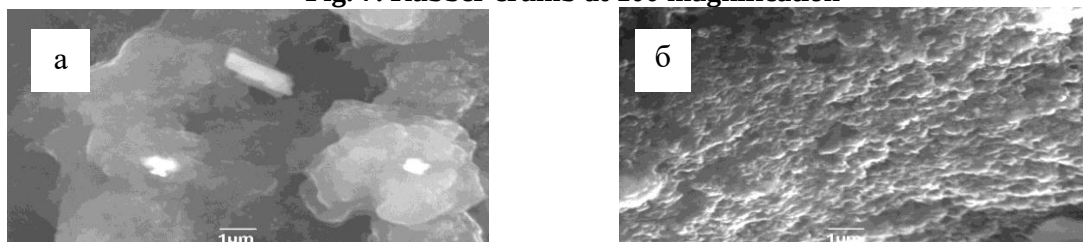


а – до термомеханической обработки, б – после термомеханической обработки

Рис.7. Резиновая крошка при 100 кратном увеличении

a - before thermomechanical treatment, b - after thermomechanical treatment

Fig. 7. Rubber crumb at 100 magnification



а – до термомеханической обработки, б – после термомеханической обработки

Рис. 8. Резиновая крошка при 10000 кратном увеличении

a - before thermomechanical treatment, b - after thermomechanical treatment

Fig. 8. Rubber crumb at 10000 magnification

В соответствии с физико-химическими представлениями, положенные П.А. Ребиндером [25], развитая удельная поверхность обеспечивает повышенную температурную устойчивость и эластичность битумов, модифицированных резиновой крошкой, что справедливо даже в тех случаях, когда факторы технологического процесса не оптимальны.

3. Сравнение физико-химических свойств битумов, модифицированных различной резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, с аналогами. Для оценки степени изменения физико-химических свойств битумов, модифицированных резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, произведено сравнение их показателей с существующими аналогами. Результаты выполненной оценки представлены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение свойств битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, с аналогами

Table 2. Comparison of the properties of bitumen modified with crumb rubber in a two-stage technological process with analogs

Вязущее Astringent	Физико-химические свойства Physicochemical characteristics									
	П25	П0	Д25	Д0	Э25	Э0	КиШ	Хр	ΔКиШ	ΔМ
РБВ на РК ЛА	57	25	10,3	8,0	85	78	68	-25,0	-1	0,59
РБВ на РК ГМ	62	27	12	7,1	82	52	67	-23,0	-1	0,75
БРК-ИГУ	-	-	-	-	-	-	62	-23,0	-	-
БИТРЭК 70	70	-	-	5	-	50	60	-20,0	-	-

Примечание:

- РБВ на РК ЛА – битум, модифицированный резиновой крошкой (полученной при переработки шин от легковых автомобилей) при двухстадийном технологическом процессе при двухстадийной технологии ее введения;
- РБВ на РК ГМ – битум, модифицированный резиновой крошкой (полученной при переработки шин от горнодобывающих машин) при двухстадийном технологическом процессе при двухстадийной технологии ее введения;
- БРК-ИГУ – битумно-резиновая композиция Иркутского государственного университета;
- БИТРЭК – битумнорезиновый экологически чистый композиционный материал.

Note:

- RBV on RK LA - bitumen modified with rubber crumb (obtained by processing tires from passenger cars) in a two-stage technological process with a two-stage technology of its introduction;
- RBV at RK GM - bitumen modified with crumb rubber (obtained by processing tires from mining machines) in a two-stage technological process with a two-stage technology of its introduction;
- BRK-IGU - bitumen-rubber composition of Irkutsk State University;
- BITREK is an environmentally friendly bitumen-rubber composite material.

Несмотря на то, что в открытых источниках [26,27] физико-химические свойства образцов представлены не в полном объеме, заметна разница в улучшении показателей у битума, модифицированном резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе, относительно известных аналогов, что проявляется в повышении на 8-14 % интервала пластичности. В свою очередь, стоит отметить, что резиновая крошка, полученная из различных резинотехнических изделий, не оказывает существенного влияния на изменение свойств битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе.

Вывод. Таким образом, исходя из вышеупомянутого можно сделать следующие выводы:

Эффективность модификации битумов резиновой крошкой достигает наибольшего значения (повышение температуры размягчения по методу «Кольцо и шар до 68°C, понижение температуры хрупкости до минус 25°C, рост эластичности до 85 %) при двухстадийном технологическом процессе, заключающемся в получении на первой стадии при температуре 230±5°C и продолжительности процесса 3,25±1,5 часа концентрированной суспензии резинобитумного композита, а на второй – модифицированного вяжущего, при этом увеличение числа стадий введения резиновой крошки дополнительного положительного эффекта не дает.

Битум, модифицированный резиновой крошкой при двухстадийном процессе, имеет качество сцепления в среднем на 1 балл выше по сравнению с исходным битумом не зависимо от происхождения горной породы, что обусловлено повышенной механической и адсорбционной адгезией.

Двухстадийный технологический процесс модификации битумов резиновой крошкой способствует повышению гомогенности системы и формированию дисперсного каркаса, армирующего вяжущее, что в целом обуславливает получение вяжущего, обладающего улучшенными физико-химическими характеристиками.

Частицы резиновой крошки придают повышенную температурную устойчивость и эластичность модифицированным битумам посредством мельчайших выпуклостей на поверхности частиц.

Библиографический список:

1. Вольфсон С. И. Использование модифицированного дорожного битума в асфальтобетонах и щебеночно-мастичных асфальтобетонах / С. И. Вольфсон // Вестник технологического университета. – 2016. – № 17. – С. 37-40.
2. Вольфсон С. И. Модификация битумов, как способ повышения их эксплуатационных свойств / С. И. Вольфсон. и др. // Вестник технологического университета. – 2016. – № 17. – С. 29-33.
3. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Макаров Д.Б., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Наномодифицированные битумные вяжущие для асфальтобетона // Жилищное строительство. 2010. № 10. С. 34-35
4. Минхаирова А.И., Закирова Л.Ю., Вольфсон И.С., Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хозин В.Г., Хакимуллин Ю.Н. Модификация дорожных битумов смесевыми термоэластопластами // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 17. С. 120-122.
5. Мурафа А.В. Битумно-резиновые вяжущие строительного назначения. Учебное пособие / А. В. Мурафа, Д. А. Аюпов, В. Г. Хозин ; М-во образования и науки Российской Федерации, Казанский гос. архитектурно-строит. ун-т. Казань, 2012.
6. Пузакова Е.В., Закирова Л.Ю., Вольфсон И.С., Хакимуллин Ю.Н., Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хозин В.Г. Влияние состава термоэластопластов на свойства модифицированных битумов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 1. С. 120-121.
7. Makarov D., Ayupov D., Murafa A., Khozin V. Compatibility studies of mixed thermoplastic rubber with road bitumen // Open Civil Engineering Journal. 2014. Т. 8. № 1. С. 124-129.
8. Ayupov D., Makarov D., Murafa A., Khozin V., Khakimullin Y., Sundukov V., Khakimov A., Gizatullin B. Modular mobility investigation of polymer binder bitumen // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Advanced Materials in Construction and Engineering. Сер. "International Scientific Conference of Young Scientists: Advanced Materials in Construction and Engineering, TSUAB 2014" 2015. С. 012003.
9. Ярцев В. П. Эксплуатационные свойства и долговечность битумно-полимерных композитов / В. П. Ярцев, А. В. Ерофеев. – Тамбов : ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2014. – 80 с.
10. Ерофеев В. Т. Дорожные битумо-минеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность) / В. Т. Ерофеев, Ю. М. Баженов, Ю. И. Калгин. – Саранск : ФГБОУ ВПО "МГСУ", 2009. – 276 с.
11. Ликомаскин А. И. Модифицированные битумы / А. И. Ликомаскин, Л. С. Яушева, В. Т. Ерофеев. // III Республиканская научно-практическая конференция «Наука и инновации в республике Мордовия». – 2004. – С. 168-174.
12. Ерофеев В. Т. Исследование реологических свойств модифицированного битума / В. Т. Ерофеев, А. И. Сальникова. // Вестник МГСУ. – 2016. – № 8. – С. 48-63.
13. Калгин Ю. И. Разработка и исследование литого асфальтобетона на битумно-каучуковом вяжущем / Ю. И. Калгин, В. Т. Ерофеев. // Строительные материалы. – 2007. – № 1. – С. 60-63.
14. Аюпов Д. А. Модифицированные битумные вяжущие строительного назначения / Д. А. Аюпов. и др. // Строительные материалы. – 2009. – № 8. – С. 50-52.

15. Шестаков Н.И. Модифицированные асфальтобетон с углеродными нанодобавками: Дис. канд. техн. наук: 05.23.05. – Улан-Удэ, 2015. – 132 с.
16. Буренина О. Н. Разработка модифицированных асфальтобетонных смесей для строительства автомобильных дорог в условиях севера / О. Н. Буренина, Л. А. Николаева, В. Е. Копылов. // Дороги и мосты. – 2013. – № 29. – С. 205-211.
17. Битуев А. В. Получение вяжущих для дорожного строительства на основе нефтяных остатков и ископаемых углей / А. В. Битуев, Ю. Ю. Пономарева. // Вестник ВСГУТУ. – 2012. – № 3. – С. 76-81.
18. Абдуллин А. И. Битумные вяжущие / А. И. Абдуллин. и др. – Казань : КНИТУ, 2012. – 100 с.
19. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия [Текст] / Госстандарт СССР. М., 1996.
20. Вяжущие и резиноасфальтобетоны БИТРЕК. Опыт применения / ООО НПГ «ИНФОТЕХ». М. 2014. 20 с.
21. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. — Москва: Стандартинформ, 2013. — 55с.
22. Новые материалы в дорожном строительстве: Учеб. пособие / В.А. Веренько. Мн.: УП «Технопринт», 2004. 170 с.
23. Андриади Ю.Г. Комплексно модифицированное полимерно-битумное вяжущее для верхних слоев асфальтобетонных покрытий: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. – Ростов-на-Дону, 1999. – 156 с.
24. Бегункова Н.И. Исследование применения отходов производства полимеров в качестве улучшающих добавок в асфальтобетоне//Тр./Гос. всесоюз. дор. НИИ. - 1977. – Вып. 99. – С.102-109.
25. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика / П. А. Ребиндер. – М. : Знание, 1958. – 63 с.
26. Никольский, В. Г. "Унирем" и другие модификаторы / В. Г. Никольский. и др. // Автомобильные дороги. – 2010. – № 3. – С. 28-29.
27. Битумнорезиновые экологически чистые композиционные материалы битрэк [Электронный ресурс] // bitrack.ru – Режим доступа: <http://www.bitrack.ru>. – Загл. с экрана.

References:

1. Vol'fson S. I. Ispol'zovaniye modifitsirovannogo dorozhnogo bituma v asfal'tobetonakh i shchebenochno-mastichnykh asfal'tobetonakh / S. I. Vol'fson // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – 2016. – № 17. – S. 37-40. [Wolfson SI The use of modified road bitumen in asphalt concrete and crushed stone-mastic asphalt concrete / SI Wolfson // Bulletin of the Technological University. 2016. No. 17. pp. 37-40. (In Russ)]
2. Vol'fson S. I. Modifikatsiya bitumov, kak sposob povysheniya ikh ekspluatatsionnykh svoystv / S. I. Vol'fson. i dr. // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – 2016. – № 17. – S. 29-33. [Wolfson SI Modification of bitumen as a way of increasing their operational properties / SI Wolfson. et al. // Bulletin of the Technological University. 2016. No. 17. pp 29-33. (In Russ)]
3. Ayupov D.A., Murafa A.V., Makarov D.B., Khakimullin YU.N., Khozin V.G. Nanomodifitsirovannyye bitumnyye vyazhushchiye dlya asfal'tobetona // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2010. № 10. S. 34-35 [Ayupov D.A., Murafa A.V., Makarov D.B., Khakimullin Yu.N., Khozin V.G. Nanomodified bituminous binders for asphalt concrete // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2010. No. 10. pp. 34-35. (In Russ)]
4. Minkhairova A.I., Zakirova L.YU., Vol'fson I.S., Ayupov D.A., Murafa A.V., Khozin V.G., Khaki-mullin YU.N. Modifikatsiya dorozhnykh bitumov smesevymi termoelastoplastami // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2012. T. 15. № 17. S. 120-122. [Minkhairova A.I., Zakirova L.Yu., Wolfson I.S., Ayupov D.A., Murafa A.V., Khozin V.G., Khaki-mullin Yu.N. Modification of road bitumen with mixed thermoplastic elastomers // Bulletin of Kazan Technological University. 2012. T. 15.No. 17. pp. 120-122. (In Russ)]
5. Murafa A.V. Bitumno-rezinovyye vyazhushchiye stroitel'nogo naznacheniya. Uchebnoye posobiye / A. V. Murafa, D. A. Ayupov, V. G. Khozin ; M-vo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii, Kazanskiy gos. arkhitekturno-stroitel'naya shkola, Kazan', 2012. [Murafa A.V. Bitumen-rubber binders for construction purposes. Textbook / A. V. Murafa, D. A. Ayupov, V. G. Khozin; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Kazan State architectural and building. un-t. Kazan, 2012. (In Russ)]
6. Puzakova Ye.V., Zakirova L.YU., Vol'fson I.S., Khakimullin YU.N., Ayupov D.A., Murafa A.V., Khozin V.G. Vliyaniye sostava termoelastoplastov na svoystva modifitsirovannykh bitumov //Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. T. 16. № 1. S. 120-121. [Puzakova E.V., Zakirova L.Yu., Wolfson I.S., Khakimullin Yu.N., Ayupov D.A., Murafa A.V., Khozin V.G. Influence of the composition of thermoplastic elastomers on the properties of modified bitumen // Bulletin of Kazan Technological University. 2013. T. 16.No. 1.pp. 120-121. (In Russ)]
7. Makarov D., Ayupov D., Murafa A., Khozin V. Compatibility studies of mixed thermoplastic rubber with road bitumen // Open Civil Engineering Journal. 2014. T. 8.No. 1. pp. 124-129.
8. Ayupov D., Makarov D., Murafa A., Khozin V., Khakimullin Y., Sundukov V., Khakimov A., Gizatullin B. Modular mobility investigation of polymer binder bitumen // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Advanced Materials in Construction and Engineering, Ser. "International Scientific Conference of Young Scientists: Advanced Materials in Construction and Engineering, TSUAB 2014" 2015.S. 012003.
9. Yartsev V. P. Ekspluatatsionnyye svoystva i dolgovechnost' bitumno-polimernykh kompozitov / V. P. Yartsev, A. V. Yerofeyev. – Tambov : FGBOU VPO "TGUTU", 2014. – 80 с. [Yartsev VP Operational properties and durability of bitumen-polymer composites / VP Yartsev, AV Erofeev. - Tambov: FGBOU VPO "TSTU", 2014. 80 p. (In Russ)]
10. Yerofeyev V. T. Dorozhnyye bitumomineral'nyye materialy na osnove modifitsirovannykh bitumov (tekhnologiya, svoystva, dolgovechnost') / V. T. Yerofeyev, YU. M. Bazhenov, YU. I. Kalgin. – Saransk : FGBOU VPO "MGCU", 2009. – 276 с. [Erofeev VT Road bitumen-mineral materials based on modified bitumen (technology, properties, durability) / VT Erofeev, Yu. M. Bazhenov, Yu. I. Kalgin. - Saransk: FSBEI HPE "MGSU", 2009. 276 p. (In Russ)]
11. . Likomaskin A. I. Modifitsirovannyye bitумы / A. I. Likomaskin, L. S. Yausheva, V. T. Yerofeyev. // III Respublikanskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauka i innovatsii v respublike Mordoviya». – 2004. – S. 168-174. [Likomaskin A. I. Modified bitumens / A. I. Likomaskin, L. S. Yausheva, V. T. Erofeev. // III Republican scientific-practical conference "Science and innovation in the Republic of Mordovia." 2004 pp. 168-174. (In Russ)]

12. Yerofoev V. T. Issledovaniye reologicheskikh svoystv modifitsirovannogo bituma / V. T. Yerofoev, A. I. Sal'nikova. // Vestnik MGSU. – 2016. – № 8. – S. 48-63. [Erofeev VT Research of rheological properties of modified bitumen / VT Erofeev, AI Salnikova. // Bulletin of MGSU. 2016. No. 8. pp. 48-63. (In Russ)]
13. Kalgin YU. I. Razrabotka i issledovaniye litogo asfal'tobetona na bitumno-kauchukovom vyazhu-shchem / YU. I. Kalgin, V. T. Yerofoev. // Stroitel'nyye materialy. – 2007. – № 1. – S. 60-63. [Kalgin Yu. I. Development and research of cast asphalt concrete based on bitumen-rubber binding / Yu. I. Kalgin, VT Erofeev. // Construction Materials. 2007. No. 1. pp. 60-63. p (In Russ)]
14. Ayupov D. A. Modifitsirovannyye bitumnyye vyazhushchiye stroitel'nogo naznacheniya / D. A. Ayupov. i dr. // Stroitel'nyye materialy. – 2009. – № 8. – S. 50-52. [Ayupov DA Modified bituminous binders for construction purposes / DA Ayupov. etc. // Building materials. - 2009. No. 8. pp. 50-52. (In Russ)]
15. Shestakov N.I. Modifitsirovannyye asfal'tobeton s uglerodnymi nanodobavkami: Dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.05. – Ulan-Ude, 2015. – 132 s [Shestakov N.I. Modified asphalt concrete with carbon nanoadditives: Dis. Cand. tech. Sciences: 05.23.05. - Ulan-Ude, 2015. 132 p. (In Russ)]
16. Burenina O. N. Razrabotka modifitsirovannykh asfal'tobetonnykh smesey dlya stroitel'stva avtomobil'nykh dorog v usloviyakh severa / O. N. Burenina, L. A. Nikolayeva, V. Ye. Kopylov. // Dorogi i mosty. – 2013. – № 29. – S. 205-211. [Burenina ON Development of modified asphalt concrete mixtures for the construction of highways in the north / ON Burenina, LA Nikolaeva, VE Kopylov. // Roads and bridges. 2013. No. 29.pp. 205-211. (In Russ)]
17. Bituyev A. V. Polucheniye vyazhushchikh dlya dorozhnogo stroitel'stva na osnove neftnykh ostatkov i iskopayemykh ugley / A. V. Bituyev, YU. YU. Ponomareva. // Vestnik VSGUTU. – 2012. – № 3. – S. 76-81. [Bituev A. V. Obtaining binders for road construction based on oil residues and fossil coal / A. V. Bituev, Yu. Yu. Ponomareva. // Bulletin of VSGUTU. 2012. No. 3. pp. 76-81. In Russ]]
18. Abdullin A. I. Bitumnyye vyazhushchiye / A. I. Abdullin. i dr. – Kazan' : KNITU, 2012. – 100 c. [Abdullin A. I. Bituminous binders / A. I. Abdullin. and others - Kazan: KNITU, 2012 . 100 p.. (In Russ)]
19. GOST 22245-90. Bitumy neftnyye dorozhnyye vyazkiye. Tekhnicheskiye usloviya [Tekst] / Gosstandart SSSR. – M., 1996. [GOST 22245-90. Viscous oil road bitumens. Specifications [Text] / Gosstandart of the USSR. M., 1996. (In Russ)]
20. Vyazhushchiye i rezinoasfal'tobeton BITREK. Opyt primeneniya / OOO NPG «INFOTEKH». – М. – 2014. – 20 s. [Binding and rubber-asphalt concrete BITREK. Application experience / LLC NPG "INFOTECH". - М. – 2014. 20 p. (In Russ)]
21. GOST 9128-2013 Smesi asfal'tobetonnyye, polimerasfal'tobetonnyye, asfal'tobeton, polime-rasfal'tobeton dlya avtomobil'nykh dorog i aerodromov. Tekhnicheskiye usloviya. — Moskva: Standartin-form, 2013. — 55s. [GOST 9128-2013 Mixes asphalt concrete, polymer asphalt concrete, asphalt concrete, polymer-asphalt concrete for highways and airfields. Technical conditions. - Moscow: Standartin-form, 2013. -- 55p. . (In Russ)]
22. Novyye materialy v dorozhnom stroitel'stve: Ucheb. posobiye / V.A. Veren'ko. – Mn.: UP «Tekhno-print», 2004. – 170 s. [New materials in road construction: Textbook. allowance / V.A. It's true. - Minsk: Unitary Enterprise "Tekhno-print", 2004. 170 p. (In Russ)]
23. Andriadi YU.G. Kompleksno modifitsirovannoye polimerno-bitumnoye vyazhushcheye dlya verkhnykh sloyev asfal'tobetonnykh pokrytiy: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. – Rostov-na-Donu, 1999. – 156 s. [Andriadi Yu.G. Complex modified polymer-bitumen binder for the upper layers of asphalt concrete pavements: Dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.23.05. - Rostov-on-Don, 1999 . 156 p. (In Russ)]
24. Begunkova N.I. Issledovaniye primeneniya otkhodov proizvodstva polimerov v kachestve uluchsha-yushchikh dobavok v asfal'tobeton/Tr./Gos. vsesoyuz. dor. NII. - 1977. – Vol. 99. – S.102-109 [N. I. Begunkova Investigation of the use of waste products from polymer production as improving additives in asphalt concrete // Tr. / State. all-union. dor. Research Institute. 1977. Issue. 99. pp.102-109. (In Russ)]
25. Rebinder P. A. Fiziko-khimicheskaya mekhanika / P. A. Rebinder. – M. : Znaniye, 1958. – 63 c. [Rebinder P. A. Physical and chemical mechanics / P. A. Rebinder. M.: Knowledge, 1958 . 63 p. (In Russ)]
26. Nikol'skiy, V. G. "Unirem" i drugiye modifikatory / V. G. Nikol'skiy. i dr. // Avtomobil'nyye dorogi. – 2010. – № 3. – S. 28-29. [Nikolsky, V. G. "Unirem" and other modifiers / V. G. Nikolsky. et al. // Automobile roads. 2010. No. 3. pp. 28-29. (In Russ)]
27. Bitumnorezinovyye ekologicheski chistyye kompozitsionnyye materialy bitrek [Elektronnyy resurs] // bitrack.ru – Rezhim dostupa: <http://www.bitrack.ru>. – Zagl. s ekrana. [Bitumen-rubber ecologically pure composition materials bitrek [Electronic resource] // bitrack.ru - Access mode: <http://www.bitrack.ru>. - Title from the screen. (In Russ)]

Сведения об авторе:

Иванов Сергей Александрович, старший преподаватель; e-mail: isa.ad@kuzstu.ru

Information about author:

Sergei A. Ivanov, Senior Lecturer; e-mail: isa.ad@kuzstu.ru

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.04.20

Принята в печать 17.05.2020.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 21.04.2020.

Accepted for publication 17.05.2020.