

УДК 625.8

DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.25

ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАРЕНИЯ БИТУМО-ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ

М. Г. Салихов¹, Е. В. Веюков¹, Л. И. Малянова², А. З. Гайфуллина¹

¹Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола)

²Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (г. Чебоксары)

Приведен анализ достоинств и недостатков использования бетонов с применением битумов, по сравнению с другими видами бетонов, в качестве конструктивного материала для покрытий дорожных одежд автомобильных дорог. Отмечено, что в процессе приготовления, транспортировки, укладки в инженерные сооружения и дальнейшей эксплуатации покрытий неизбежно происходят изменения их структуры и основных физико-механических свойств. Причем изменение свойств и структуры асфальтобетонов и других битумо-минеральных материалов во времени происходит, как правило, в сторону ухудшения. Одним из главных факторов в этом процессе выступает температура. При этом решающую роль играет битум, который вместе с минеральным порошком связывает минеральные компоненты воедино. Наибольшую роль в изменении свойств играет асфальтовое вяжущее.

Известная методика изучения старения отдельно битума в тонких пленках, приведенная в стандартной методике ПНСТ 8-2012, не учитывает влияния на этот процесс высоко-развитых поверхностей минерального порошка. Новая методика, предложенная на кафедре строительных технологий и автомобильных дорог Поволжского государственного технологического университета, помогает избежать этого недостатка. Данная методика позволяет проводить лабораторные исследования процессов старения всех видов известных бетонов с использованием как органических вяжущих, так и смесей битума с их минеральными составляющими по отдельности. Также появляется возможность изучения старения смесей в технологическом и эксплуатационном периодах их жизни. Работы при этом выполняются с использованием стандартного набора лабораторного оборудования, анализ характера и интенсивности процессов старения (динамики развития во времени) осуществляется при помощи безразмерных коэффициентов, избегая влияния на анализ масштабного фактора. Кроме того, в процессе проектирования появляется возможность корректировки составов битумо-минеральных смесей с учетом их старения в дальнейшем. Результаты экспериментальных исследований, полученные путем расчетов значений коэффициента старения асфальтового вяжущего по различным показателям по новой методике, позволили выявить степень подверженности их старению при высоких температурах, определить наиболее значимые показатели и выполнить анализ для смесей при различных соотношениях минерального порошка и битума. В данной работе показаны результаты изучения теплостойкости, пределов прочности при сжатии при +20 и +50 °С. По результатам экспериментов установлены корреляционные зависимости рассматриваемых показателей от времени прогревания смесей при высокой температуре и выполнен теоретический анализ установленных зависимостей.

Ключевые слова: асфальтобетон; асфальтовое вяжущее; смесь минерального порошка и битума; новая методика; высокая температура; старение; средняя плотность; теплостойкость; прочность при сжатии; время прогревания; коэффициенты старения и интенсивности.

Введение. Асфальтобетонные и другие искусственно получаемые нежесткие битумо-минеральные материалы с момента изобретения (1907 г. [1]) за последние 100 лет превратились в основной дорожно-строительный материал верхнего и нижнего слоев покрытия

автомобильных дорог с капитальным и облегченным типами покрытий. Это достигнуто благодаря совершенствующимся физико-механическим и эксплуатационным показателям, позволяющим использовать их практически во всех регионах земного шара.

Классические асфальтобетоны обычно состоят из крупного заполнителя (щебня, гравия), мелкого заполнителя (песка), наполнителя (минерального порошка) и битума. Минеральная часть в настоящее время подбирается по методу непрерывной или прерывистой гранулометрии так, чтобы стало возможным получение наиболее плотной их упаковки после уплотнения [1]. Каждый из составляющих структуры компонентов играет свою роль в перераспределении напряжений.

При этом крупный заполнитель совместно с мелким служит основной скелетобразующей: он заполняет большую часть объёма в асфальтобетонах каркасной или поликаркасной структуры (щебня более 45 % от массы минеральной части) и воспринимает основные действующие напряжения.

Минеральный порошок является наиболее дисперсной частью асфальтобетонов. Несмотря на сравнительно небольшую долю массы и объёма асфальтобетона, минеральный порошок занимает 90-95 % суммарной площади поверхности минеральных материалов. Поэтому он выступает главным фактором перевода объёмного битума в пленочное состояние [2]. Он, вместе с битумом, является основным заполнителем межзернового пространства в мезоструктуре, увеличивает поверхности контактов между зёрнами и, соответственно, способствует повышению внутреннего трения в асфальтобетоне.

Минеральный порошок из карбонатных и основных пород относительно небольшой прочности, как правило, хорошо совмещается с битумом, который избирательно диффундирует во внутренние поры порошка и способствует повышению жёсткости асфальтобетона. При этом некоторые исследователи считают, что характер структурообразования влияет на устойчивость асфальтобетона в целом.

Долговечность асфальтобетона зависит также от вида и степени дисперсности минерального порошка. Например, по мнению И. А. Рыбьева [1], минеральный порошок на

своих поверхностях структурирует битум, что приводит к повышению погодоустойчивости асфальтобетона, И. А. Лысихина [3] полагает, что при этом замедляется старение битума, а Б. Г. Печёный [4] считает, что структурированные слои битума становятся менее подвижными.

Битум является одним из главных структурирующих компонентов, который в жидком состоянии обволакивает поверхности минеральных составляющих, снижая при этом их поверхностную активность. В результате повышается их перемешиваемость и уплотняемость смеси, а после её застывания битумное вяжущее склеивает минеральные составляющие друг с другом в единую массу. Образующийся при этом искусственный камень (асфальтобетон) способен воспринимать механические усилия, в то же время обладая необходимой пластичностью.

Методами проектирования и получения составов асфальтобетонов, процессами структурообразования и управления их качеством занимались и занимаются такие известные учёные, как П. В. Сахаров, Н. Н. Иванов, А. А. Калерт, М. И. Волков, А. К. Бирюля, А. Е. Лысихина, В. В. Михайлов, Г. К. Сюньи, И. А. Рыбьев, Б. И. Ладыгин, В. А. Золотарёв, Н. В. Горельшев, Л. Б. Гезенцевей, И. В. Королёв и многие другие [1-5, 7, 11, 19].

Асфальтобетоны и их разновидности, обладая очевидными преимуществами, в то же время имеют и определенные недостатки. Главными из них являются процессы, идущие в зависимости от температуры, усталостные явления и старение во времени. Это происходит под влиянием внешней среды и внутренних процессов, под влиянием воды, температуры, динамических нагрузок и т.д.

Старение – это процесс необратимых изменений структуры и значений физико-механических и других свойств асфальтобетонов во времени. Процессы старения битума исследовали в различных аспектах А. И. Лысихина, А. С. Колбановская, В. В. Михайлов, Е. Г. Таращанский, Л. М. Гохман, И. А. Рыбь-

ев, Л. Б. Гезенцвей, И. В. Руденская, А. В. Руденский, В. А. Золотарев, И. А. Королёв, Г. С. Бахрах, В. И. Братчун и др. [1-8, 11, 17-19].

Старение асфальтобетонов зависит от множества факторов, таких как состав, природа, дисперсность минеральной части, способ получения битума, вида и химической активности минеральных составляющих, толщины плёнок на поверхности минеральной части, плотности бетона и минеральных составляющих, величины, интенсивности и продолжительности действия внешних и внутренних воздействий и т.д. Однако многие исследователи одним из главных факторов признают действующую на них температуру. От степени старения зависит также долговечность асфальтобетонных конструкций.

Цели и задачи выполнения данной работы:

1) установление оптимального соотношения минерального порошка и битума, учёт процессов их температурного старения;

2) определение показателя старения МПБ и его сравнение со значениями старения смесей асфальтобетонов в целом;

3) проверка возможности использования предложенной новой методики старения асфальтобетонов и других битумо-минеральных смесей путём прогревания при высоких температурах.

Методика исследования. Для оценки старения асфальтобетонов и других компонентов минеральных смесей необходимо применять метод, позволяющий получать однозначные и достоверные показатели старения за любое время действия температуры. Сегодня известна стандартная методика ПНСТ для оценки старения битума при температуре +163 °С. Однако она не позволяет произвести оценку старения асфальтобетона. Известные нестандартные методики обладают определенными недостатками, поэтому с целью преодоления их предложена новая методика. В соответствии с ней выполнена экспериментальная часть исследований.

Подготовка образцов заключалась в следующем. Были взяты 4 навески известнякового порошка (МП) марки М-1, которые перемешивались после просушки до постоянной массы с расплавленным вязким битумом БНД 90/130 в соотношениях МПБ=0,75:0,25; 0,80:0,20; 0,85:0,15; 0,90:0,10. Подготовленные таким образом смеси на подносах далее размещались в электрическую печь, где выдерживались поочередно при температуре +150 °С в течение 0, 1, 3, 5, 7, 9 часов. Затем из них при рабочих температурах (130...140 °С) формовались стандартные цилиндрические образцы диаметром и высотой по 50 мм при избыточном давлении 40 МПа в течение 3 минут. Приготовленные таким образом образцы подвергались испытаниям по стандартным методикам ГОСТ 12801-98 [8] с установлением значений их физико-механических характеристик. Анализ полученных результатов экспериментов осуществили путём выполнения расчётов по установлению значений скорости $K_{ст}$ и сопоставления результатов экспериментов с теоретическими представлениями о процессах структурообразования и старения порошковых бетонных смесей (МПБС) при высоких температурах.

Проведение опытов, обработка результатов и их анализ. В ходе экспериментов были установлены значения средней плотности образцов, предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов при температуре +20 и +50 °С и водонасыщения, рассчитаны значения коэффициентов теплостойкости, водостойкости и старения по соответствующим показателям для каждого из рассмотренных соотношений МП:Б при времени прогревания в течение 0, 1, 3, 5, 7 и 9 часов. Некоторые результаты этих экспериментов представлены ниже в таблице.

Анализ значений столбцов 3, 4, 5 (см. таблицу) показывает, что наибольшую плотность и сопротивляемость разрушению при сжатии при +20 и +50 °С показывают образцы из предварительно прогретых смесей при соотношении МП:Б равном 0,85:0,15. Это близко совпадает с результатами исследований

Л. Б. Гезенцева, пришедшего к выводу о существовании для бинарной смеси «минеральный порошок-битум» критического их соотношения, равного 0,87:0,13, при котором обеспечивается наибольшая пространственная прочность системы.

Некоторые результаты экспериментов

№ образцов п/п	Время прогревания, ч	Средняя плотность, г/см ³	Предел прочности при сжатии, МПа		Значение коэффициента старения по показателю			$K_{cm}^{+50^{\circ}C}$ у АБ типа Б (битум 5,6 %, МП 10 %)	
			+20 °С	+50 °С	K_{cm}^{km}	$K_{cm}^{+20^{\circ}C}$	$K_{cm}^{+50^{\circ}C}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. При соотношении МП:Б=0,75:0,25									
1	0	2,10	1,80	0,50	0,28	1,00	1,00	МП:Б=0,64:0,36	
2	1	2,09	1,60	0,50	0,31	0,89	1,00		
3	3	2,10	1,90	0,60	0,32	1,06	1,20		
4	5	2,12	1,90	0,70	0,37	1,06	1,40		
5	7	2,10	1,80	0,70	0,39	1,00	1,40		
6	9	2,09	1,90	0,65	0,34	1,06	1,30		
2. При соотношении МП:Б=0,80:0,20									
7	0	2,01	0,55	0,19	0,35	1,00	1,00	1,00	
8	1	2,01	0,50	0,20	0,36	0,91	1,05		
9	3	2,03	0,50	0,20	0,36	0,91	1,05		
10	5	2,05	0,90	0,30	0,55	1,64	1,58		
11	7	2,03	0,90	0,25	0,45	1,64	1,32		
12	9	2,01	0,80	0,20	0,36	1,45	1,05		
3. При соотношении МП:Б=0,85:0,15									
13	0	2,08	2,30	0,80	0,35	1,00	1,00		
14	1	2,09	2,30	0,80	0,35	1,00	1,00		
15	3	2,12	2,90	0,90	0,39	1,26	1,13		
16	5	2,11	2,90	1,30	0,57	1,26	1,63		
17	7	2,12	2,80	1,10	0,48	1,22	1,38		
18	9	2,10	2,80	1,05	0,46	1,22	1,31		
4. При соотношении МП:Б=0,90:0,10									
19	0	1,94	0,40	0,15	0,38	1,00	1,00		
20	1	1,93	0,30	0,10	0,33	0,75	0,67		
21	3	1,97	0,60	0,10	0,17	1,50	0,67		
22	5	2,01	1,80	0,20	0,11	4,50	1,33		
23	7	2,04	2,60	0,25	0,10	6,50	1,67		
24	9	1,99	0,90	0,20	0,22	2,25	1,33		

Для сравнения полученного соотношения с рекомендуемыми в действующих стандартах для различных смесей получены следующие данные:

1) в горячих асфальтобетонах по ГОСТ 9128-2013:

- а) для типа А – МП:Б=0,75:0,25,
- б) для типа Б – МП:Б=0,64:0,36,
- в) для типа В – МП:Б=0,56:0,44;

2) в щебеночно-мастичных асфальтобетонах по ГОСТ 31015-2002 для вида ЦМА-20 – МП:Б=0,62:0,38;

3) в литых асфальтобетоннах по ГОСТ Р 54401-2011 – МП:Б=0,65:0,35.

Как видно из приведенных данных, во-первых, чем больше в асфальтобетонах доля

крупнозернистой части, тем больше требуется битума в асфальтовом вяжущем веществе; во-вторых, в асфальтобетонах с использованием вязкого битума «ответственность» за обеспечение требуемой прочности асфальтового вяжущего в значительной мере несёт дисперсная часть (минеральный порошок). Кроме того, в известных асфальтобетонах соотношение минерального порошка и битума оказывается не совсем оптимальным. Это, видимо, можно объяснить необходимостью обеспечения большей жесткости асфальтобетонов при повышенных температурах.

Дальнейший анализ полученных данных (см. таблицу) показывает, что если значение предела прочности при сжатии образцов при

+50 °С из битумоминеральной смеси при соотношении МП:Б=0,85:0,15 отличается от прочности асфальтобетона классического состава в начальный период (до прогревания составляла 0,37), то после прогревания при +150 °С в течение 7 часов составляет 0,52. Это говорит о возрастании роли асфальтового вяжущего в обеспечении прочности асфальтобетона.

В целом предварительное прогревание асфальтового вяжущего при +150 °С в течение 0...9 часов для всех соотношений МП:Б приводит к их старению. Наиболее заметно оно в течение первых трех часов, затем этот процесс несколько стабилизируется. При этом в начальный период прогревания наблюдается некоторое повышение механической прочности образцов. Это происходит из-за полимеризации битума, испарения его легких составляющих в окружающую среду и впитывания последних порами минеральных зерен, а также охрупчивания асфальтового вяжущего.

Процессы старения идут с большей интенсивностью в смесях с большим содержа-

нием битума. Значения коэффициента старения для всех соотношений МП:Б после 5 часов прогревания начинают уменьшаться. Это, видимо, можно объяснить достижением к 5 часам прогревания наибольшего охрупчивания материала. При этом обнаруживается большая чувствительность к действию температуры у асфальтового вяжущего, чем у асфальтобетонной смеси. Наилучшую сопротивляемость старению оказывает образец из асфальтового вяжущего при МП:Б=0,85:0,15. Это говорит о том, что при проектировании составов асфальтобетонов желательно произвести их корректировку по показателю значения старения асфальтобетона или асфальтового вяжущего.

При анализе динамики изменений значения предела прочности при сжатии при +50 °С видно, что эти изменения происходят по волнообразной закономерности в зависимости от соотношения минерального порошка к битуму для всего интервала времени предварительного их прогревания при высокой температуре (см. рисунок).

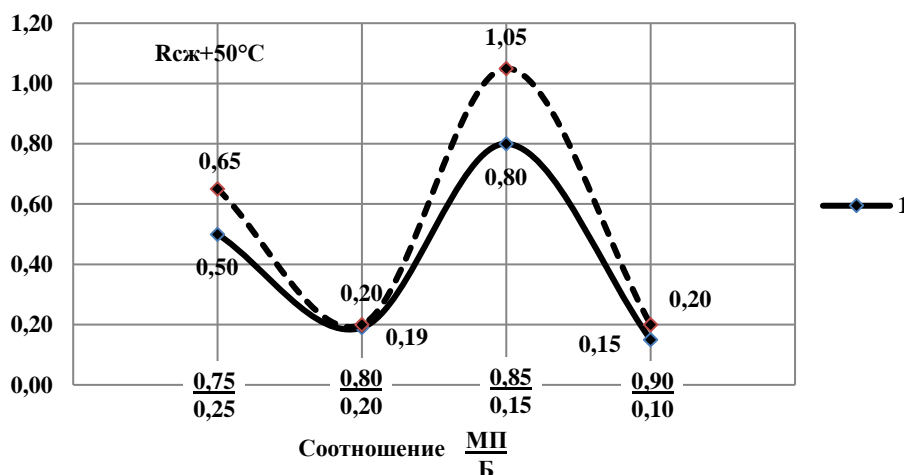


График зависимости изменения значений предела прочности при сжатии при +50 °С от соотношения «минеральный порошок - битум»: 1 – при t_{пр} = 0 часов; 2 – при t_{пр} = 9 часов

При относительно низкой удельной доле битума (в пределах Б:МП=0,25:0,75 ... 0,20:0,80) прочность образца несколько снижается по мере роста доли битума за счёт снижения свободной поверхностной энергии в межфазных зонах. По мере дальнейшего

увеличения доли битума (в пределах Б:МП=0,20:0,80 ... 0,15:0,85) из-за образования плёнки битума на поверхностях всех частичек уплотняемость образцов увеличивается (плотность образца достигает наибольших значений), соответственно, сопротивляемость

образцов разрушению также достигает максимума.

При дальнейшем увеличении доли битума (в пределах Б:МП=0,15:0,85 ... 0,10:0,90) излишняя толщина битумных плёнок на поверхности минеральных частичек не позволяет получить требуемую плотность и, следовательно, их прочность также будет снижаться по мере увеличения доли битума.

Выводы. По результатам проведенных исследований можно заключить следующее:

1. Установлено оптимальное соотношение битума и минерального порошка в битумно-порошковой смеси, обеспечивающее наибольшую стабильность при температурном старении.

2. Экспериментально установлена и теоретически подтверждена закономерность процессов старения битумно-порошковой смеси в процессе температурного старения при +150 °С во времени.

3. Выполнена сравнительная оценка процесса температурного старения битумо-минеральной и асфальтобетонной смеси для различных соотношений битума и минерального порошка в действующих нормативах на асфальтобетон.

4. Экспериментально проверены работоспособность, пригодность и эффективность использования предложенной новой методики изучения старения бетонов применительно к битумно-порошковым смесям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны. Москва: Высшая школа, 1969. 400 с.
2. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцев, Н.В. Горелышев, А.М. Богуславский, И.В. Королев; под ред. А.Б. Гезенцев. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Транспорт, 1985. 350 с.
3. Королев И.В. Пути экономии битума в дорожном строительстве. Москва: Транспорт, 1986. 149 с.
4. Печеный Б.Г. Долговечность битумов и битумно-минеральных покрытий. Москва: Стройиздат, 1981. 123 с.
5. Таращанский Е.Г., Вильмсен И.И. Исследование старения асфальтобетона импульсным ультразвуковым методом // Повышение эффективности применения цементных и асфальтовых бетонов в Сибири: сб. 3. Омск: СибАДИ, 1975. С. 40-61.
6. Скрипкин А.Д., Старков Г.Б., Колесник Д.А. Старение битума в технологическом процессе его подготовки для производства асфальтобетонных смесей // Сб. статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. Москва: МАДГТУ (МАДИ), 2010. С. 46-53.
7. Бахрах Г.С. Учет процесса старения при проектировании состава битумо-минеральных смесей // Автомобильные дороги. 1973. № 9. С. 8-9.
8. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний: введен в действие Постановлением Госстроя России 24.11.1998, № 16 с 01.01.1998. Москва: ГУП ЦПП, 1999. 39 с.
9. Патент РФ на изобретение № 2654954. Способ определения скорости и интенсивности старения асфальтобетонов / Салихов М.Г., Веюков Е.В., Сабиров Л.Р., Малянова Л.И. Заявка № 2017104604 от 13.02.2017, опубл. 23.05.2018, Бюл. № 15.
10. Гохман Л.М., Амосов Н.В. Исследование влияния качества битума на процесс старения в тонких слоях // Нефтепереработка и нефтехимия. 1988. № 2. С. 6-8.
11. Братчун В.И., Гуляк Д.В., Беспалов В.Л. О некоторых закономерностях старения бетонных смесей и бетонов на органических вяжущих на примере дегтебетонов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Харьков: ХАДИ, 2008.
12. ПНСТ 8-2012. Дороги общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения сопротивления битума старению под воздействием высокой температуры и воздуха (Метод RFTOT), EN 12607-2007. Москва: Стандартинформ, 2014.
13. Салихов М.Г., Малянова Л.И., Веюков Е.В. Изучение трещиностойкости и сдвигоустойчивости асфальтобетонов в процессе температурного старения // Труды Поволжского государственного технологического университета. Вып. 6. Серия: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. С. 145-148.
14. ОДМ 218.3.021-2011. Методические рекомендации по подбору составов асфальтобетонных смесей с учетом влияния адгезионных добавок на старение органических вяжущих в битумо-минеральных смесях. Москва: Росавтодор, 2012.

15. ОДМ 218.3.020-2012. Методические рекомендации по обеспечению устойчивости битумов против старения и применению в технологических процессах изготовления и применения в асфальтобетонных смесях.
16. Изучение температурного старения модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона с отходами дробления известняков / М.Г. Салихов, В.Ю. Иливанов, Л.И. Малянова, Е.В. Веюков // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. Пермь: ПНИПУ, 2018. № 1. С. 67-74.
17. Калгин Ю.И., Строкин А.С., Тюков Е.Б. Перспективные технологии строительства и ремонта дорожных покрытий с применением модифицированных битумов. Воронеж, 2014. 244 с.
18. Калашникова Т.М. Проектирование составов долговечных асфальтобетонов / Т.Н. Калашникова // Труды СоюздорНИИ. 1984. С. 36-41, 66-71.
19. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Харьков: Высшая школа, 1977. 114 с.

Информация об авторах

САЛИХОВ Мухаммет Габдулхаевич – доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – физико-химические и технологические аспекты производства и применения дорожно-строительных материалов. Автор 230 публикаций, 14 патентов и авторских свидетельств СССР и РФ на изобретения.

ВЕЮКОВ Евгений Валерианович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – исследование антигололедных асфальтобетонов для покрытий автомобильных дорог. Автор 42 публикаций, 2 патентов РФ на изобретение.

МАЛЯНОВА Лидия Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительства, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары. Область научных интересов – исследование модифицированных асфальтобетонов с отходами местной промышленности. Автор 20 публикаций, 3 патентов РФ на изобретение.

ГАЙФУЛЛИНА Алсу Зулъкафировна – магистрант кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола.

UDC 625.8

DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.25

RESEARCH INTO TEMPERATURE AGEING OF BITUMEN-POWDER MIXTURES

M. G. Salikhov¹, E. V. Veikov¹, L. I. Malianova², A. Z. Gaifullina¹

¹Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola)

²Chuvash State University (Cheboksary)

The paper analyzes the advantages and disadvantages of the use of bituminous concrete in comparison with other types of concrete, as a constructive material for road coatings. In the process of preparation, transportation, installation in engineering structures and further operation of coatings, their structure and basic physical and mechanical properties inevitably change. These changes in the properties and structure of asphalt and other bitumen-mineral materials over time usually deteriorate. One of the main factors in this process is the temperature. In this case, the decisive role is played by bitumen, which together with the mineral powder binds the mineral components together. Asphalt binder exerts a significant impact on property changes. The used method of studying the ageing of bitumen in thin films documented in the standard procedure PNST 8-2012 does not take into account the influence of highly developed mineral powder surfaces on this process. The new method proposed by Volgatch researchers ensures elimination of this drawback. This method allows carrying out laboratory

experiments of ageing processes of all types of known concrete separately using organic binders and bitumen mixtures with their mineral components. At the same time, it is possible to study the ageing of mixtures in the technological and operational cycles. The work is carried out using a standard set of laboratory equipment, the analysis of the nature and intensity of ageing processes (dynamics of development in time) is carried out using dimensionless coefficients, avoiding the impact on the analysis of the scale factor. During the design process it is possible to correct the content of bitumen-mineral mixtures with regard to their ageing. Experimental research results obtained due to the application of the new methodology allowed calculating the value of the ageing coefficient of asphalt binder and applying different indicators in order to distinguish the degree of ageing at high temperatures. It was also possible to identify the most significant indicators for mixtures with different proportion of the mineral powder and bitumen. The research shows the results of heat resistance and compressive strength at + 20 °C and +50 °C. As a result of the undertaken experiments, the correlation dependences of the parameters on the time of mixture exposure to high temperatures and the theoretical analysis of the determined dependences have been carried out.

Keywords: asphalt concrete; asphalt binder; mixture of mineral powder and bitumen; high temperature; ageing; average density; coefficient of heat resistance; compressive strength; average density; coefficient of heat resistance; heating time; coefficient of ageing and intensity.

REFERENCES

1. Rybev I.A. *Asfaltovyebetony [Asphalt concrete]*, Moscow: Vysshaja shkola [Higher School], 1969, 400 p.
2. Gezencvej L.B., Gorelyshev N.V., Boguslavskij A.M., Korolev I.V. *Dorozhnyj asfal'tobeton [Road asphalt concrete]*, pod red. A.B. Gezencvaja, 2-e izd., pererab. i dop. [edited by A.B. Gezencvaja, 2nd edition revised and amended], Moscow: Transport, 1985, 350 p.
3. Korolev I.V. *Puti jekonomii bituma v dorozhnom stroitel'stve [Ways to save bitumen in road construction]*, Moscow: Transport, 1986, 149 p.
4. Pechenyj B.G. *Dolgovechnost bitumovibitumno-mineral'nyh pokrytij [The durability of bitumen and bitumen-mineral coatings]*, Moscow: Strojizdat, 1981, 123 p.
5. Tarashhanskij E.G., Vilmsen I.I. *Issledovanie starenija asfal'tobetona impul'snym ul'trazvukovym metodom. Povyshenie effektivnosti rimenenia cementnyh i asfal'tovyh betonov v Sibiri [The study of the ageing of asphalt concrete pulsed ultra-sound method. Improving the efficiency of cement and asphalt concrete in Siberia]: sb. 3, Omsk: SibADI, 1975, pp. 40-61.*
6. Skripkin A.D., Starkov G.B., Kolesnik D.A. *Starenie bituma v tehnologicheskom processe ego podgotovki dlja proizvodstva asfaltobetonnyh smesej, Sb. statej i dokladov ezhegodnoj nauchnoj sessii Associacii issledovatelej asfal'tobetona [Ageing of bitumen in the technological process of its preparation for the production of asphalt concrete mixtures. Collection of articles and reports of the annual scientific session of the Association of asphalt concrete researchers]*, Moscow: MadGTU (MADI), 2010, pp. 46-53.
7. Bahran G.S. *Uchet processa starenija pri proektirovanii sostava bitumomineral'nyh smesej [Accounting for the ageing process in the design of the composition of bitumen-mineral mixtures]*, *Avtomobil'nye dorogi [Automobile roads]*, 1973, No. 9, pp. 8-9.
8. GOST 12801-98. *Materialy na osnove organicheskikh vjzhashhiih dlja dorozhnogo i ajerodromnogo stroitel'stva. Metody ispytanij [Materials based on organic binders for road and airfield construction. Test methods]*, Moscow, 1999, 39 p.
9. Salikhov M.G., Veiukov E.V., Sabirov L.R., Malianova L.I. *Sposob opredelenija skorosti i intensivnosti starenija asfal'tobetonov [Method for determining the speed and intensity of ageing of asphalt concrete]: Patent RF na izobretenie No. 2654954, Zajavka No. 2017104604 ot 13.02.2017, opubl. 23.05.2018, Bjul. No. 15 [Patent of the Russian Federation for invention No. 2654954, Application No. 2017104604 dated 13.02.2017, published on 23.05.2018, Bulletin No. 15].*
10. Gohman L.M., Amosov N.V. *Issledovanie vlijanija kachestva bituma na process starenija v tonkihslojah [Study of the effect of quality of bitumen on the ageing process in thin layers]*, *Neftepererabotka i neftehimija [Oil refining and petrochemistry]*, 1988, No. 2, pp. 6-8.
11. Bratchun V.I., Guljak D.V., Bepalov V.L. *O nekotoryh zakonmernostjah starenija betonnyh smesej i betonov na organicheskikh vjzhashhiih na primere degtebetonov [About some patterns of ageing concrete mixes and concrete on organic binders on the example of tar concrete]*, *Vestnik Harkovskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta [Bulletin of Kharkov National Automobile and Road University]*, Harkov: HADI, 2008.

12. PNST 8-2012. Dorogi obshhego pol'zovanija. Bitumy neftjanye dorozhnye vjazkie. Metod opredelenija bituma stareniju pod vozdejstviem vysokoj temperatury i vozduha (Metod RFTOT) [Public roads. Bitumens oil road viscous. Method for the determination of bitumen by the ageing of bitumen under the influence of high temperature and air (RFTOT method)], EN 12607-2007, Moscow: Standartinform, 2014.

13. Salihov M.G., Maljanova L.I., Vejukov E.V. Izuchenie treshhinostojkosti i sdvigoustojchivosti asfal'tobetonov v processe temperaturnogo starenija [The study of crack resistance and shear resistance of asphalt concrete in the process of temperature ageing], *Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta, Serija "Tehnologicheskaja"* [Proceedings of Volga State University of Technology. Series Technological], Yoshkar-Ola, 2018, Issue 6, pp. 145-148.

14. ODM 218.3.021-2011. Metodicheskie rekomendacii po podboru sostavov asfal'tobetonnyh smesej s uchetom vlijanija adgezionnyh dobavok na starenie organicheskikh vjazhushhih v bitumomineral'nyh smesjah [Guidelines for the selection of compositions of asphalt mixes, taking into account the effect of adhesive additives on the ageing of organic binders in bituminous mixtures], Moscow: Rosavtodor, 2012.

15. ODM 218.3.020-2012. Metodicheskie rekomendacii po obespecheniju ustojchivosti bitumov protiv starenija i primenenija v tehnologicheskikh processah izgotovlenija i primenenija v asfal'tobetonnyh smesjah [Guidelines for ensuring the stability of bitumen against ageing and use in technological processes of manufacturing and use in asphalt concrete mixtures].

16. Salihov M.G., Ilivanov V.Iu., Maljanova L.I., Vejukov E.V. Izuchenie temperaturnogo starenija modificirovannogo shhebenochno-mastichnogo asfal'tobetona s othodami droblenija izvestnjakov [Study of temperature ageing of modified crushed stone-mastic asphalt concrete with limestone crushing waste], *Transport. Transportnye sooruzhenija. Ekologija* [Transport. Transport Construction. Ecology], Perm: PNIPU, 2018, No. 1, pp. 67-74.

17. Kalgin Iu.I., Strokin A.S., Tjukov E.B. Perspektivnye tehnologii stroitel'stva i remonta dorozhnyh pokrytij s primeneniem modificirovannyh bitumov [Promising technologies for construction and repair of pavements using modified bitumen], Voronezh, 2014, 244 p.

18. Kalashnikova T.M. Proektirovanie sostavov dolgovechnyhasfal'tobetonov [Designing compositions of durable asphalt concrete], *Trudy Sojuzdor NII* [Proceedings of SoyuzdorNII], 1984, pp. 36-41, 66-71.

19. Zolotarev V.A. Dolgovechnost' dorozhnyh asfal'tobetonov [Durability of road asphalt concrete], Har'kov: Vysshaja shkola [Higher School], 1977, 114 p.

Information about the authors

SALIKHOV Mukhammet Gabdulkaevich – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Building Technology and Automobile Roads, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – physical and chemical processes and environmental aspects of production and application of road building materials. Author of 230 publications, 14 patents and inventor's certificates.

VEIUKOV Evgenii Valerianovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Building Technology and Automobile Roads, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – research of anti-icing asphalt concrete for road surfaces. Author of 20 publications, 3 patents.

MALIANOVA Lidiia Ivanovna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Chuvash State University, Cheboksary. Research interests – research of modified asphalt concrete with waste of local industry. Author of 20 publications, 3 patents for inventions.

GAIFULLINA Alsu Zulkafirovna – master student of the Department of Building Technology and Automobile Roads, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Author of 2 publications.

Библиографическая ссылка

Изучение температурного старения битумо-порошковых смесей / М. Г. Салихов, Е. В. Веюков, Л. И. Мальянова, А. З. Гайфуллина // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 4(12). – С. 25-33. – DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.25