

- © В.А. Золотарев, докт. техн. наук, професор,
- © Р.А. Хамад,
- © Д.В. Калашник (ХНАДУ)

УСТОЙЧИВОСТЬ АСФАЛЬТО- И АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНОВ В ЖИДКИХ АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ ПРИ СЖАТИИ И ИЗГИБЕ

Аннотация. Приведены результаты лабораторных испытаний на сжатие и изгиб асфальто- и асфальтополимербетон в агрессивных средах: в воде; в водных растворах NaCl и H_2SO_4 ; в дизельном топливе.

Ключевые слова: автомобильная дорога; асфальтобетон; асфальтополимербетон; агрессивная среда; средоустойчивость.

Анотація. Наведено результати лабораторних випробувань на стиск і згин асфальто- і асфальтополімербетонів у агресивних середовищах: у воді; у водних розчинах NaCl і H_2SO_4 ; у дизельному паливі.

Ключові слова: автомобільна дорога; асфальтобетон; асфальтополімербетон; агресивне середовище; середовищестійкість.

Annotation. Results of laboratory tests for compression and bending asphalt and asphalt-polymer concrete in aggressive environments: water, in aqueous NaCl and H_2SO_4 ; in diesel fuel.

Keywords: road; asphalt concrete; asphalt-polymer concrete; aggressive environment; environment sustainability.

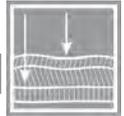
Устойчивость асфальтобетон в разрушающему действию жидких агрессивных сред является одним из важнейших факторов предупреждения деградации верхних слоев дорожных покрытий, которая может выражаться в их шелушении, выкрашивании, ямочности, размягчении.

Наиболее распространенными агрессивными средами являются вода, водные растворы различных химических веществ, антигололедные растворы, горюче-смазочные жидкости. Предупреждение разрушений и разработка антикоррозионных мер могут быть эффективными при условии объективных знаний о разрушающем действии сред использованием соответствующих критериев его оценки.

Исторически сложилось так, что приоритетное внимание уделяли агрессивному действию воды, которое приводит к отслоению битумных пленок от поверхности каменных материалов. В связи с этим в разных странах были разработаны методы оценки сцепления битума в водных средах. Эти методы могут быть пассивными и активными, качественными и количественными [1, 2].

Для оценки устойчивости асфальтобетон в воде используют показатели, основанные на соотношении прочности при сжатии после выдерживания в воде и прочности в сухом состоянии. При этом параметры испытаний могут быть различными [3, 4]. Такой же принцип положен в основу европейского стандарта [5] по оценке устойчивости асфальтобетона в антигололедных средах, с той лишь разницей, что испытания проводят при осевом растяжении.

На покрытия автостоянок, автозаправочных станций может попадать топливо и смазочные материалы, что приводит к растворению вяжущего и размягчению асфальтобетона. С учетом этого в основу Европейского стандарта [6] положено определение потери массы образца после длительного его хранения в среде и последующего истирания под определенным давлением пропитанной топливом части образца специальными щетками [6]. Кроме того, существуют методы производства, в которых асфальтобетоны подвергаются действию специфических агрессивных сред. Это касается полов химических предприятий, гидротехнических экранов, отстойников, накопителей и др.



Несмотря на актуальность проблемы, исследования, направленные на ее решение, носят эпизодический характер [7 – 10]. Наряду с поисками технологических способов повышения устойчивости асфальтобетонов в агрессивных средах продолжают исследования методов и критериев ее оценки.

Предлагаемая работа посвящена установлению влияния условий испытания на средоустойчивость асфальто- и асфальтополимербетонов. В качестве вяжущих приняты четыре битума с разной пенетрацией. Базовым служил битум БНД 60/90 с пенетрацией 64·0,1 мм. Битум с пенетрацией 43·0,1 мм был получен доокислением базового битума в лабораторной установке колонного типа при температуре 190 – 200 °С и расходе воздуха 3 – 4 л/мин в течение 4 часов. Битумы с пенетрацией 103·0,1 мм и 160·0,1 мм получены пластификацией базового битума гудроном с температурой размягчения 34 °С, взятым в количестве 20 % и 45 % (сверх 100 % битума) соответственно.

В качестве полимера использован Кратон Д 1101, содержание полимера в битуме с пенетрацией 64·0,1 мм составляло 3 %, а битумах с пенетрацией 103·0,1 мм и 160·0,1 мм соответственно 3 % и 6 %. Смешение битумов с полимером производили в лабораторной мешалке при температуре 180 °С в течение 1 часа в случае 3 % полимера и 1,5 часов в случае 6 % полимера. Для оценки качества битумов и БМП использовали стандартные методы испытания, предусмотренные ДСТУ 4044-2001 и ДСТУ Б В.2.7-135 [11, 12].

Принятый для исследований асфальтобетон типа “Г” составлен из фракций зерен искусственного гранитного песка, зерен известнякового минерального порошка с размером менее 0,071 мм – 8,7 % и пылеватых зерен этого же размера гранитных высевок – 3,6 %.

Содержание вяжущего в асфальтобетоне во всех случаях было принято равным 5,5 %. Хотя оно не отвечало оптимальному содержанию вяжущих разной консистенции, но обеспечивало относительно близкие значения их водонасыщения асфальтобетонов, что важно для идентичности условий испытания в средах.

Свойства асфальтобетона оценивали по показателям: средней плотности, водонасыщению, прочности при 22 °С и 50 °С на сжатие и прочности при 22 °С на чистый изгиб шарнирно опертой балочки 4 × 4 × 16 см сосредоточенными, на равном расстоянии от опор и друг относительно друга, нагрузками. Скорость деформирования в обоих случаях равнялись 3 мм/мин.

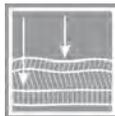
Средоустойчивость асфальто- и асфальтополимербетонов определяли по коэффициенту устойчивости, представляющему собой отношение прочности на сжатие и изгиб после 15 суток выдерживания в жидких средах к прочности воздушно сухих образцов. В качестве жидких агрессив-

ных сред приняты: вода питьевая; 5-ти процентный раствор NaCl; 2-х процентный раствор H₂SO₄ и дизельное топливо марки ДТз.

Свойства используемых в исследовании вяжущих приведены в табл. 1. Они полностью подтверждают ранее полученные закономерности. Прежде всего, усиливающая способность полимера растет с понижением консистенции исходного битума. В случае битумов с пенетрацией 64·0,1 мм, 103·0,1 мм, 160·0,1 мм введение в них 3 % СБС понижало пенетрацию соответственно в 1,23; 1,39 и 1,49 раза, а введение 6 % СБС в битумы с пенетрацией 103·0,1 мм и 160·0,1 мм – соответственно в 1,93 и 2,42 раза. Температура размягчения при введении 3 % СБС для тех же пенетраций возросла соответственно на 8,9 °С, 11,3 °С и 19,4 °С, а при введении 6 % СБС в битумы с пенетрацией 103·0,1 мм и 160·0,1 мм – соответственно на 32,3 °С и 36,4 °С. Растяжимость БМП по сравнению с чистыми битумами во всех случаях резко падает. Температуры хрупкости при введении 3 % СБС практически не изменяются, т.к. средой таких БМП является битум. Тем не менее, хрупкость БМП уменьшается, поскольку по отношению к базовому битуму он характеризуется меньшей пенетрацией.

Введение 6 % СБС приводит к инверсии фаз, средой преимущественно становится полимер. Она обеспечивает значительное понижение температуры хрупкости достаточно когезионно прочного БМП. В случае исходного битума с пенетрацией 103·0,1 мм температура хрупкости понизилась на 10 °С, а в случае битума с пенетрацией 160·0,1 мм – на 13 °С. Эластичность БМП нарастает по мере понижения консистенции базового битума (в данном случае от 83 % до 91 %) из-за улучшения пластифицирующей (растворяющей) способности мальтеновой среды битумов. Интервал пластичности БМП при 3 % СБС расширяется за счет повышения температуры размягчения, а при 6 % СБС за счет увеличения температуры размягчения и понижения температуры хрупкости.

Свойства асфальтобетонов, определяемые по методике подобной стандартной, приведены в табл. 2. В соответствии с приведенными в ней данными повышение пенетрации битума (1, 2, 4, 7), при равном его содержании, практически не сказывается на показателях плотности: средняя плотность изменяется в пределах ошибки эксперимента, допускаемой ДСТУ Б В.2.7-89 [4]; изменение краткосрочного водонасыщения, за исключением объекта 4, находится в пределах 0,4, а долговременного в пределах 0,3 %. При этом средняя плотность цилиндрических образцов ниже, чем образцов-балочек, а водонасыщение выше на 1,6 %. Прочность на сжатие превосходит прочность на изгиб от 1,35 до 1,7 раза при переходе от асфальтобетонов на битуме с пенетрацией 43·0,1 мм к асфальтобетонам на битуме 160·0,1 мм. В отношении битума с пенетрацией



Таблиця 1

Технические свойства битумов и БМП на их основе

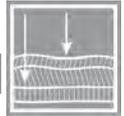
Показатели свойств	Битум	Битум	БМП 3 %	Битум	БМП 3 %	БМП 6 %	Битум	БМП 3 %	БМП 6 %
Пенетрация	43	64	52	103	74	53	160	107	66
Температура размягчения, °С	56	49,3	58,2	43,7	55	76	40,6	60	77
Растяжимость при 25 °С, см	30	> 100	54	> 100	84	64	> 100	41	—
Температура хрупкости °С	-18	-19	-20	-22	-20	-31	-23	-23	-36
Эластичность при 25 °С, %	—	—	83	—	88	98	—	91	98
Интервал пластичности	74	68	78	66	75	107	64	83	113

Таблиця 2

Физико-механические свойства асфальто- и асфальтополимербетонов

Индекс Вяжущего	Вид вяжущего и его состав и пенетрация	ρ _S , г/см ³	W %, по объему	W ¹⁵ , % по объему	$\frac{R_{22}^{СЭС}}{R_{22}^{ИВ}}$	R ₅₀ ^{СЭС}	Коэффициент длительной средоустойчивости			
							Вода	NaCl 5 %	H ₂ SO ₄ 2 %	
1	Битум П ₂₅ = 43·0,1 мм	2,33 / 2,37	5,3 / 3,5	5,7 / 4,9	4,83 / 3,57	2,14	0,80 / 0,65	0,82 / 0,65	0,84 / 0,71	0,32 / —
2	Битум П ₂₅ = 64·0,1 мм	2,33 / 2,37	5,5 / 3,9	6,8 / 5,2	3,91 / 2,55	1,44	0,82 / 0,73	0,86 / 0,75	0,84 / 0,76	0,38 / —
3	Битум (П ₂₅ = 64·0,1 мм) 3 % (П ₂₅ = 52·0,1 мм)	2,35 / 2,39	5,0 / 3,0	6,3 / 4,1	4,8 / 3,48	2,08	0,92 / 0,87	0,97 / 0,96	0,96 / 0,96	0,36 / —
4	Битум П ₂₅ = 103·0,1 мм	2,33 / 2,36	5,7 / 4,5	6,9 / 5,6	3,41 / 2,23	1,2	0,81 / 0,73	0,81 / 0,70	0,88 / 0,76	0,35 / —
5	Битум (П ₂₅ = 103·0,1 мм) 3 % СБС (П ₂₅ = 74·0,1 мм)	2,37 / 2,39	4,1 / 2,9	5,2 / 4,1	4,38 / 3,06	1,68 / —	0,92 / 0,88	0,95 / 0,93	0,93 / 0,92	0,29 / —
6	Битум (П ₂₅ = 103·0,1 мм) 6 % СБС (П ₂₅ = 53·0,1 мм)	2,35 / 2,38	4,6 / 3,2	5,9 / 4,4	4,51 / 3,26	2,03	0,88 / 0,86	0,94 / 0,92	0,92 / 0,92	0,18 /
7	Битум П ₂₅ = 160·0,1 мм	2,34 / 2,38	5,4 / 3,5	6,9 / 5,0	2,63 / 1,53	0,93	0,72 / 0,69	0,76 / 0,69	0,71 / 0,64	0,25 / —
8	Битум (П ₂₅ = 160·0,1 мм) 3 % СБС (П ₂₅ = 107·0,1 мм)	2,35 / 2,38	4,9 / 3,3	6,3 / 4,6	3,50 / 2,37	1,45	0,88 / 0,86	0,91 / 0,90	0,91 / 0,90	0,21
9	Битум (П ₂₅ = 160·0,1 мм) 6 % СБС (П ₂₅ = 66·0,1 мм)	2,35 / 2,49	4,9 / 2,9	6,3 / 3,9	4,13 / 2,80	1,63	0,86 / 0,88	0,89 / 0,90	0,89 / 0,90	0,27

Примечание. В числителе приведены данные по испытанию цилиндрических образцов, в знаменателе образцов-балочек



64·0,1 мм это несколько отличается от соотношения, установленного в [13] для асфальтобетона на битуме с пенетрацией 63·0,1 мм. С ростом пенетрации от 43·0,1 мм до 64·0,1 мм, 103·0,1 мм и 160·0,1 мм прочность соответственно понижается: на сжатие при температуре 22 °С в 1,35; 1,42 и 1,83 раза, на сжатие при 50 °С в 1,49, 1,7 и 2,3 раза; на изгиб при 22 °С в 1,4, 1,6 и 2,33 раза. Таким образом, прочность на изгиб более чувствительна к изменению пенетрации битума. В тоже время уменьшение собственно пенетрации при переходе от более вязких битумов к менее вязким существенно больше (1,48, 2,39 и 3,72 раза), чем асфальтобетон на их основе. Такое изменение соотношений прочностных показателей битумов и асфальтобетона объясняется структурирующей способностью поверхности минеральных материалов, прежде всего, минерального порошка, сопровождающейся, в случае наполненных органических систем, снижением их чувствительности к изменению вязкости среды.

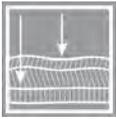
Значение коэффициентов длительной средоустойчивости (аналог термина “водоустойчивость”) свидетельствуют о том, что устойчивость асфальтобетонных по соотношению показателей прочности на сжатие в воде и водных растворах NaCl и H₂SO₄ практически одинакова для битумов с пенетрацией до 103·0,1 мм. При переходе к мало вязкому битуму она существенно снижается. Больше того, средоустойчивость асфальтобетона в растворе NaCl и H₂SO₄ в некоторых случаях превышает водоустойчивость. Это согласуется с мнением, высказанным с Ф.Ф. Цитшером [7] по поводу инертности битумов в отношении таких сред. Можно предложить, что это связано, в случае раствора соли, с ухудшением смачивания ним битумных поверхностей в порах асфальтобетона. В случае раствора H₂SO₄ можно ожидать доокисления битума. Несколько пониженный коэффициент средоустойчивости асфальтобетона на самом вязком битуме с пенетрацией 43·0,1 мм может быть вызван наличием в нем большего, чем в других асфальтобетонах, количества очагов [14] непокрытых битумом из-за ухудшения его растекаемости по поверхности минеральных зерен и его содержания, меньше оптимального. Это вытекает из известного правила: чем больше вязкость битума, тем больше его оптимальное содержание. Растворитель битума – дизельное топливо приводит к потере прочности асфальтобетона тем большей, чем ниже консистенция битума.

Новый экспериментальный факт установлен в результате испытания асфальтобетона на средоустойчивость по схеме чистого изгиба. Он заключа-

ется в том, что для всех объектов на основе битума значения коэффициента средоустойчивости, установленные по этой схеме, существенно ниже тех, что получены при испытаниях на сжатие. Если рассмотреть разницу коэффициентов средоустойчивости в единицах времени, которое асфальтобетон выдерживает до достижения отвечающего нормированному уровню значения этого коэффициента, то оно уменьшается почти в 100 раз. Такое резкое падение времени жизни асфальтобетона может быть обусловлено: развитием трещин по наиболее слабым поверхностям; отслаиванием пленки вяжущего от поверхности каменного материала в самых напряженных зонах; работой межфазной зоны на разрыв вместо сжатия, когда пленка среды может участвовать в сопротивлении нормальным напряжениям.

Введение полимера в битум преследует цель повысить прочность, трещиностойкость асфальтобетона и его устойчивость против старения и, в конечном итоге, его долговечность. В отношении сцепления битума со стеклянной подложкой в работе [15] показано, что малое содержание полимера (до 3 %) не приводит к его существенному (прирост около 6 – 8 % при исходном сцеплении битума 17 %) росту.

Влияние полимера на водоустойчивость асфальтобетона обычно больше, чем на устойчивость пленки на стекле. В случае рассматриваемых здесь объектов введение 3 % полимера в битумы (табл. 2) приводит к повышению устойчивости в воде и ее растворах на 0,1 и более в отношении объектов 3 и 5. При сравнении времен достижения значения средоустойчивости, равного 0,8, это привело бы к повышению времени жизни асфальтополимербетонных не в разы, а на порядки. В то же время в отношении устойчивости асфальтополимера в ДТ такого возрастания средоустойчивости не наблюдается. Больше того для пар 2 и 3, 4 и 5, 7 и 8 средоустойчивость даже уменьшилась. Одно из объяснений этому негативному влиянию полимера может состоять в том, что в процессе взаимодействия компонентов полимер адсорбирует масляные фракции битума, набухает и диспергируется в них, в результате чего может возникнуть подверженная растворению ДТ контактная зона полимер-масло. Здесь можно провести аналогию с фактом расслаивания БМП при хранении [16], когда в верхней части сосуда образуется система масло-полимер, обладающая высокой температурой размягчения, очень высокой пенетрацией и малой когезией. Такая система легко растворима в органических растворителях, учитывая то, что растворимость битумных составляющих повышается



в такой последовательности: карбены и карбоиды, асфальтены, смолы, масла.

Результаты сравнительных испытаний асфальтополимербетона на средоустойчивость по схеме чистого изгиба свидетельствуют о еще большей эффективности БМП. Прирост коэффициента водоустойчивости достигает 0,2, что может быть обусловлено большей прочностью асфальтополимербетона на изгиб по сравнению с асфальтобетоном: по объектам № 2 и № 3 в 1,36 раза, № 4 и № 5 в 1,37, № 7 и № 8 – 1,55 раза.

Увеличение содержания полимера до 6 % приводит к замедленному нарастанию прочности, по сравнению с 3 %. При этом вполне, очевидна, большая степень нарастания прочности при 50 °С, т.к. эффективность усиливающего действия полимера растет, с повышением температуры. Это количественно и качественно совпадает изменением свойств вяжущего при модификации битумов с пенетрацией 103·0,1 мм и 160·0,1 мм.

Результаты определения коэффициента средоустойчивости отклоняются от этой тенденции. Максимальные их значения, определенные по результатам испытаний на сжатие, соответствуют 3 % полимера для воды, а также растворов соли и кислоты. Причем такой характер изменения коэффициента средоустойчивости имеет место для асфальтобетонов на модифицированных битумах ($P_{25} = 103 \cdot 0,1$ мм и $P_{25} = 160 \cdot 0,1$ мм) после сжатия и изгиба. Это может быть связано с ухудшением качества обволакивания минеральных зерен, за счет худшего смачивания высокомодифицированным битумом минеральной подложки, что сопровождается увеличением количества дефектов.

В отношении влияния дизельного топлива, подобного эффекта повышения коэффициента средоустойчивости не обнаруживается. Больше того, наблюдается тенденция уменьшения коэффициента средоустойчивости по сравнению с исходным битумом. В связи с необычностью таких результатов, необходима углубленная проверка устойчивости асфальтополимербетонов в различных углеводородных (топливных) средах, в частности, кинетики ее уменьшения во времени.

Приведенные выше сравнения касались асфальто- и асфальтополимербетонов на битумах и БМП разной пенетрации, большей в случае битума. В тоже время корректное сравнение возможно для битумов и БМП с одинаковой или близкой пенетрацией. Только в этом случае может раскрыться объективная роль полимера в битуме и асфальтобетоне. Принятая методика исследований, выполняемых в ХНАДУ на протяжении последних 15 лет, заключается в сравнении пока-

зателей этих свойств асфальтобетонов по схеме треугольника: асфальтобетон на исходном битуме, асфальтополимербетон на БМП и асфальтобетон на битуме с пенетрацией, равной или близкой пенетрации БМП. В данном случае это правило можно применить к асфальтобетону на битуме № 4 с пенетрацией 103·0,1 мм и асфальтополимербетону на БМП № 8 с пенетрацией 107·0,1 мм. Средняя плотность образцов цилиндров и балочек несколько больше у асфальтополимербетона (№ 8); водонасыщение – меньше; прочность при сжатии и изгибе практически одинакова; прочность на сжатие при 50 °С на 20 % выше, что полностью совпадает с основной ролью полимера повышать прочность при высоких температурах и изменять соотношения между прочностью при 20 °С и 50 °С (в данном случае 2,84 против 2,41).

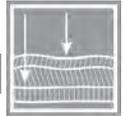
Для этой пары, основываясь на значениях температуры размягчения (у битума 43,7 °С, а у БМП – 60 °С), следовало бы ожидать гораздо большего прироста прочности при 50 °С, что очередной раз свидетельствует о несостоятельности температуры размягчения, как критерия предсказания теплоустойчивости асфальтобетона и особенно асфальтополимербетона [17].

Согласно полученным данным, средоустойчивость в воде и водных растворах NaCl и H₂SO₄ выше в случае испытания на сжатие (в пределах 0,07-0,1), а в случае испытания на изгиб в пределах (0,13-0,20), что свидетельствует об огромном преимуществе асфальтополимербетонов. В то же время коэффициент устойчивости в дизельном топливе при сжатии существенно ниже у асфальтополимербетона (0,21 против 0,35, что в почти 16 раз меньше во временном измерении).

Аналогичные результаты получены для асфальтобетона и асфальтополимербетонов на битуме (2) с пенетрацией 64·0,1 мм и БМП (9) с пенетрацией 66·0,1 мм. При этом температура размягчения БМП на 27,7 °С выше, чем битума.

Усиливающая способность 3 % полимера возрастает для асфальтополимербетона на основе менее вязкого битума с пенетрацией 160·0,1 мм по сравнению с асфальтополимербетоном на более вязком битуме с пенетрацией 103·0,1 мм, соответственно по прочности на сжатие при 20 °С в 1,35 и 1,28 раза, на сжатие и при температуре 50 °С – 1,56 и 1,40 раза, на изгиб – 1,55 и 1,37 раза. Это связано с лучшей растворяющей способностью мало вязких битумов, обусловленной большим содержанием в них масляных фракций.

При этом коэффициент средоустойчивости после введения полимера в битум растет больше в случае его определения по результатам испытания



на изгиб и, подобно механическим свойствам, также в большей степени увеличивается в случае меньшей вязкости исходного битума. Когда же средой является дизельное топливо, то степень снижения коэффициента средоустойчивости может быть меньше для БМП на маловязком битуме с 3 % и 6 % полимера. При этом однако, абсолютные значения показателей прочности и средоустойчивости всегда выше в случае БМП на более вязком исходном битуме (пары 2 и 3 – 0,36; 4 и 5 – 0,29; 7 и 8 – 0,21), что неоднократно показано ранее.

Заключение

Анализ показателей качества асфальтобетонов и асфальтополимербетонов, полученных при испытаниях на сжатие и изгиб в агрессивных средах позволяет констатировать следующее.

Водные растворы соли и кислоты не только не понижают средоустойчивость асфальто- и асфальтополимербетонов по методике долговременного выдерживания в среде, но даже в некоторой мере ее повышают по сравнению с водой. Асфальтополимербетоны устойчивее, чем асфальтобетоны в воде и водных растворах NaCl и H₂SO₄ как при сжатии, так изгибе. Дизельное топливо резко снижает прочность асфальто- и асфальтополимербетонов (тем больше, чем ниже вязкость вяжущих). Уровень снижения прочности под влиянием ДТ асфальтополимербетонов существенно больше, чем асфальтобетона. Это особенно проявляется в отношении асфальто- и асфальтополимербетонов на битуме и БМП с равной пенетрацией.

Показатели средоустойчивости асфальто- и асфальтополимербетонов при изгибе гораздо ниже, чем при сжатии. Это свидетельствует о неудовлетворительности показателя средоустойчивости, определяемого по результатам испытания на сжатие, вообще, и водостойчивости, в частности, для прогнозирования долговечности асфальтобетона в покрытии.

Информационно-полезным и методически объективным является установление влияния полимера на свойства асфальтобетона в условиях, когда консистенция (пенетрация) битума и БМП близка.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колбановская А.С. Метод красителей для определения сцепления битумов с минеральными материалами. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 32 с.

2. ДСТУ Б В.2.7–81–98. Битуми нафтові дорожні в'язкі. Метод визначення показника зчеп-

люваності з поверхнею скла та кам'яних матеріалів.

3. ESSAI:B14. Matériaux enrobés. Essai de stabilité Duriez. – Paris: LCPC, 1961. – 15 p.

4. ДСТУ Б В.2.7–89–99. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань.

5. BS EN 12697–41. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 41: Resistance to de-icing fluids.

6. BS EN 12697–43. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 43: Resistance to futl.

7. Цитшер Ф.Ф. Применение асфальтовых покрытий для укрепления берегов. – М.: Стройиздат, 1964. – 412 с.

8. Куринов Б.С. Долговечность асфальтобетона в агрессивных средах. – Элиста: Калмыцкое книжное издательство, 1976. – 155 с.

9. Швягирева О.А. Исследование влияния противогололедных реагентов на изменение структуры и свойств асфальтового бетона // Автореферат дис. канд. техн. наук. – Москва: МАДИ, 1999. – 19 с.

10. Котлярский Э.В., Воейко О.А. Влияние воздействия противогололедных реагентов на изменение структуры и свойств битумов и асфальтобетона // Ассоциация исследователей асфальтобетона. Сб. докл. 29.01.08. – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – С. 39 – 46.

11. ДСТУ Б В.2.7–135:2007. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови.

12. Золотарев В.А., Ефремов С.В., Хамад Р.А. Влияние напряженно-деформированного состояния асфальтобетона на скоростные зависимости его прочности // Ежегодная научная сессия. Ассоциация исследователей асфальтобетона. Сборник докладов. – М., 2012. – С. 5 – 11.

13. Гезенцев Л.Б., Горелышев Н.В., Богуславский А.М., Королев И.В. Дорожный асфальтобетон. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.

14. Золотарев В.А., Кудрявцева С.В., Ефремов С.В., Агеева Е.Н. Совместное влияние полимеров и поверхностно-активных веществ на сцепление битумов и водостойкость асфальтобетонов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2007. – № 3. – С. 33 – 35.

15. Золотарев В.А., Галкин А.В., Кищинский С.В. Оценка стабильности при хранении модифицированных полимерами битумов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006. – № 2. – С. 18 – 21.

16. Золотарев В.А. Свойства битумов модифицированных полимерами типа СБС // Автошляховик України. – № 5. – С. 25 – 27.