

УДК 625.7/8

**А.В. Исаев** – аспирант

**М.Г. Салихов** – доктор технических наук, профессор

**Марийский государственный технический университет**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИГОЛОЛЕДНЫХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ С ПРОТИВОМОРОЗНЫМИ ДОБАВКАМИ**

### **АННОТАЦИЯ**

В работе впервые изучено влияние на сцепление (адгезию) льда с поверхностью щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) количества и крупности противогололедных добавок, вводимых в его структуру. В качестве противогололедных добавок использованы мелкозернистые соли: хлористый натрий, хлористый кальций и их смеси в различных соотношениях. Адгезия льда к поверхности ЩМА исследовалась при различных температурах замораживания стандартных цилиндрических образцов. Изучено также влияние на физико-механические свойства ЩМА количества и крупности противоморозных добавок.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** антигололедный асфальтобетон, хлористый натрий, хлористый кальций, адгезия, сцепление льда, кристаллическая соль.

**A.V. Isaev** – post-graduate student

**M.G. Salikhov** – doctor of technical sciences, professor

**Mari State Technical University**

## **RESEARCH AGAINST ICE AND PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES RUBBLE-MASTIC ASPHALTBETONS WITH AGAINST ICE ADDITIVES**

### **ABSTRACT**

In work influence on coupling (adhesion) of an ice with a surface rubble-mastic asphaltbeton (RMA) quantities and coarseness against ice the additives entered into its structure for the first time is studied. As against ice additives fine-grained salts are used: chloride sodium, chloride calcium and their mixes in various ratio. Adhesion of an ice to surface RMA was investigated at various temperatures of freezing of standard cylindrical samples. Influence on physicomechanical properties RMA quantity and coarseness against ice additives is studied also.

**KEYWORDS:** against ice asphaltbetons, chloride sodium, chloride calcium, adhesion, coupling of an ice, crystal salt.

В настоящее время существует множество способов борьбы с гололедообразованием и скользкостью на покрытиях автомобильных дорог: фрикционные, физические, химические и комбинированные [1-4]. Большинство из них сводится либо к периодическому удалению снежно-ледяных отложений, либо к периодическому распределению фрикционных материалов по покрытию. Они обладают существенными недостатками, такими как большой расход эксплуатационных материалов и энергии, требуют большого количества механизации и денежных средств, загрязняют окружающую среду и т.д. Кроме того, эффект каждого мероприятия относительно кратковременный и эти мероприятия требуют многократного повторения за расчетный зимний период. Во многих странах находит применение технология «смоченная соль», когда твердую соль перед распределением по покрытию обрабатывают раствором этой же или другой соли [2]. Эта технология позволяет сэкономить до 25...40 % противоморозной соли. Однако необходимость многократного распределения за сезон при данной технологии сохраняется. Предложены также способы обработки поверхности покрытий гидрофобными жидкостями (например, кремнийорганическими [5]), внесение противоморозных добавок в структуру асфальтобетона в виде тонкоизмельченного порошка («Грикол» [6]) или в виде частиц средней крупности (например, солей NaCl [4, 7, 8] и др.). Асфальтобетоны с внесением противоморозных добавок в их структуру принято называть

антигололедными. Покрытия антигололедных асфальтобетонов (ААБ) обладают пониженными значениями сцепления (адгезии) льда.

Чаще всего в качестве противоморозной добавки в асфальтобетон используют хлористый натрий из-за его относительной дешевизны и доступности. Однако он может обеспечить противогололедный эффект только в пределах температур от 0 °С до -7 °С [2]. Исходя из этого, в данной работе ставится цель – поиск путей расширения температурного интервала ниже -7 °С. Кроме того, требуется изучить процессы гололедообразования на покрытиях из современных материалов, в частности, щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) с добавками противоморозных солей NaCl, CaCl<sub>2</sub> и их смесей в различных соотношениях. В МарГТУ проводились работы по изучению влияния крупности зерен обработанной битумом противоморозной соли на ее растворимость [9].

Гранулометрические составы исследованных в данной работе ЩМА приведены в табл. 1, кривая гранулометрического состава минеральной их части показана на рис. 1.

Таблица 1

**Гранулометрический состав минеральной части ЩМА**

Наименование показателя	Размер зерен, мм, мельче									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,62	0,325	0,16	0,071
Полные проходы, %	96,92	69,97	41,94	21,9	18,5	17,68	15,34	13,26	10,10	8,79
Требования ГОСТ 31015-2002 [10], %	90-100	50-70	25-42	20-30	15-25	13-24	11-21	9-19	8-15	8-13

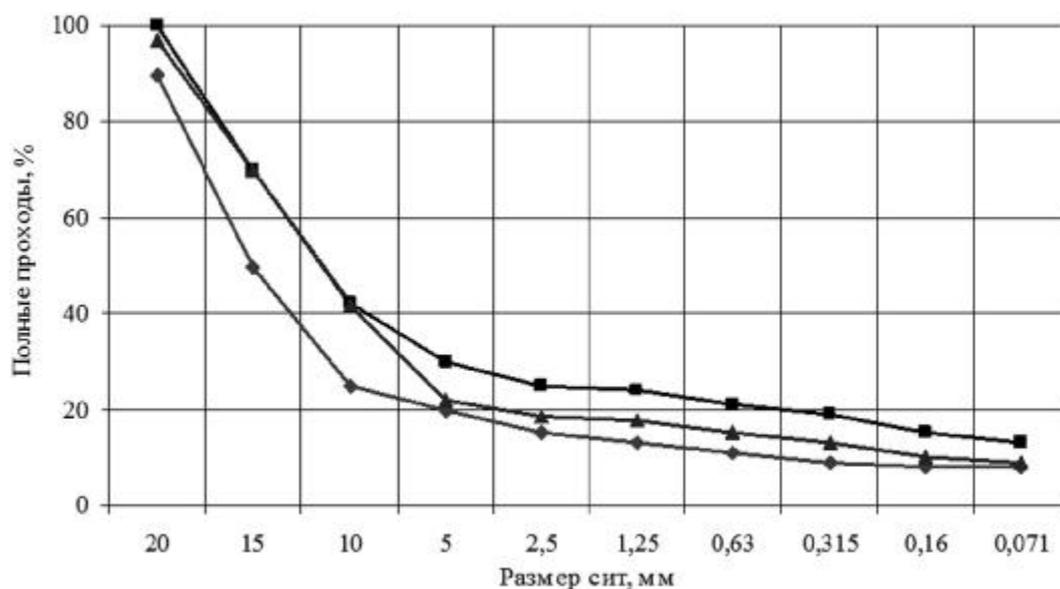


Рис. 1. Кривая подбора состава минеральной части щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси:

- ◆ – нижнее значение кривой зернового состава по ГОСТ 31015-2002 [10]
- – верхнее значение кривой зернового состава по ГОСТ 31015-2002 [10]
- ▲ – фактические проходы

Антиадгезионные свойства противогололедных асфальтобетонов проверялись по методике, разработанной в МарГТУ [4].

В данной работе в качестве противоморозных добавок рассматриваются хлористый натрий, хлористый кальций, смеси этих солей. Для установления оптимального количества добавок изучали физико-механические и антиадгезионные свойства ЩМА по отношению к снежно-ледяным отложениям. Противоморозная соль (NaCl) вводилась в состав асфальтобетона взамен соответствующей фракции дробленого песка в количестве 1, 3, 5, 7, 9 % от массы минеральной части.

Результаты опытов по изучению адгезии льда к поверхности ЩМА при различном содержании NaCl представлены на рис. 2. По минимальным значениям величины адгезии льда и сохранения требуемых показателей свойств ЩМА за оптимальное значение содержания чистой соли NaCl принимается в среднем 5 % по массе минеральной части. Такие же значения противогололедной добавки применительно к другим климатическим условиям были получены другими авторами [7, 8]. При совместном использовании двух солей (комбинированной противогололедной добавки (КПД)) суммарную их величину в ЩМА сохраняли в количестве 5 % от массы минеральной части. При этом изменение доли CaCl<sub>2</sub> от массы всей добавки составляет: 0; 12,5; 25; 50; 75; 100 %. Результаты опытов по изучению изменения значений адгезии льда к поверхности образцов ЩМА с КПД приведены на рис. 3.

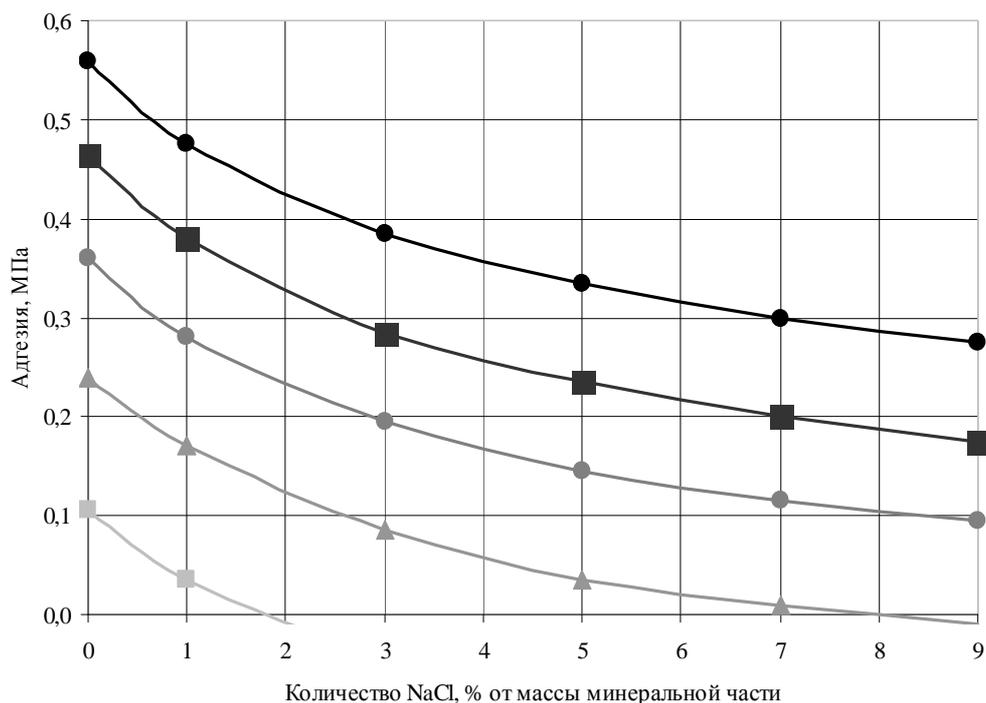


Рис. 2. График зависимости адгезии льда к поверхности ЩМА от количества NaCl:

—■— t = 0 °C; —▲— t = -5 °C; —●— t = -10 °C; —■— t = -15 °C; —●— t = -20 °C

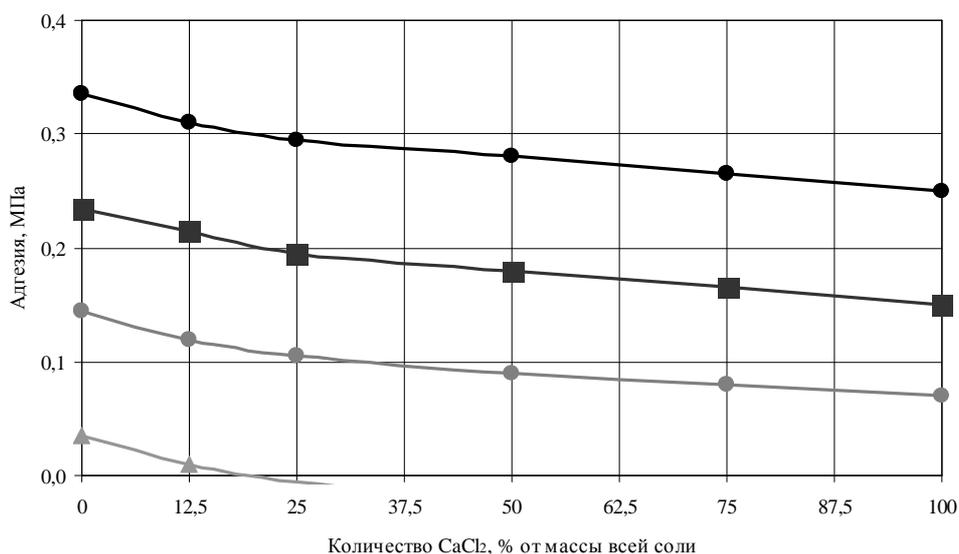


Рис. 3. Графики зависимости адгезии льда к поверхности ЩМА от доли CaCl<sub>2</sub> (в массе смеси солей NaCl и CaCl<sub>2</sub>):

—▲— t = -5 °C; —●— t = -10 °C; —■— t = -15 °C; —●— t = -20 °C

Из графиков на рис. 2 и 3 видно, что значения адгезии льда к поверхности асфальтобетона обратно пропорциональны количеству вводимых противогололедных добавок. При этом подтверждается предположение о том, что при использовании NaCl антиадгезионная способность ЩМА обеспечивается при температурах не ниже  $-5^{\circ}\text{C}$  в при количестве добавки в пределах 6...8 % от массы минеральной части. При замене части противогололедной добавки NaCl хлористым кальцием (в количестве 12,5 % от всей массы соли) значения адгезии льда при температурах  $-5$ ,  $-10$ ,  $-15$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$  снижаются соответственно в 3,5; 1,2; 1,1 и 1,1 раза. Во-первых, это говорит о том, что при внедрении метода антигололедного ЩМА оптимальным соотношением между применяемыми солями является 87,5:12,5 %; во-вторых, этот способ может быть эффективно использован в пределах температур на поверхности покрытия автомобильных дорог от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Результаты экспериментов показывают, что эффективность антиадгезионной способности (скорость уменьшения величины адгезии) при температурах  $0^{\circ}\text{C}$ ...  $-20^{\circ}\text{C}$  значительно выше при количестве добавок в пределах до 6 % от массы минеральной части ЩМА. При дальнейшем увеличении количества противоморозных добавок этот процесс замедляется.

С целью изучения влияния крупности противоморозных добавок на физико-механические свойства ЩМА проведены специальные опыты. При этом крупность соли NaCl составляла 0...0,63 мм («мелкая») и 0,63...2,5 мм («крупная»). Крупность соли CaCl<sub>2</sub> составляла 0...0,63 мм.

Противогололедные свойства ЩМА с добавками солей различной крупности NaCl, а также с CaCl<sub>2</sub> с повышенным содержанием битума при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$  приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Противогололедные свойства антигололедных ЩМА

Количество соли, в % от массы мин. части	Соотношение солей NaCl (CaCl <sub>2</sub> ), в % от массы всей соли	Количество битума, в % от массы минеральной части	Адгезия, МПа
0	-	6	0,36
1	100 (0)	6	0,28
3	100 (0)	6	0,2
5	100 (0)	6	0,15
5 крупная	100 (0)	6	0,15
5 мелкая	100 (0)	6	0,15
7	100 (0)	6	0,12
9	100 (0)	6	0,10
5	87,5 (12,5)	6	0,12
5	75 (25)	6	0,11
5	50 (50)	6	0,09
5	25 (75)	6	0,08
5	0 (100)	6	0,07
5	0 (100)	8	0,11

В образцах с добавкой 5 % CaCl<sub>2</sub> увеличение содержания битума с 6 до 8 % приводит к повышению величины адгезии. Аналогичные результаты получены также Ковалевым Н.С. для случая применения NaCl [8].

Физико-механические свойства ЩМА с кристаллическими солями NaCl и CaCl<sub>2</sub> представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 2, значения показателей физико-механических свойств ЩМА при одинаковом количестве (5 % от массы минеральной части) практически не зависят от крупности противоморозных добавок и соответствуют ГОСТ 31015-2002 [10].

Увеличение содержания в ЩМА кристаллической соли NaCl приводит к некоторому росту значений остаточной пористости, пористости минеральной части и уменьшению водонасыщения. При содержании NaCl и до 5...7 % несколько улучшаются показатели сцепления битума и стекаемости. При увеличении содержания хлористого натрия свыше 7 % от массы минеральной части ухудшаются такие показатели, как значения предела прочности при сжатии и трещиностойкости ЩМА. Количество соли свыше 7 % приводит к уменьшению прочности при сжатии, трещиностойкости ЩМА. Однако асфальтобетоны с NaCl в количестве 1...9 % соответствуют по своим свойствам требованиям ГОСТ 31015-2002 [9].

## Физико-механические свойства антигололедных ЦМА

Количество и хар-ка соли, % от массы мин. части	Вид соли, NaCl (CaCl <sub>2</sub> ), % от массы соли	V <sup>M</sup> , %	V <sup>O</sup> , %	W, %	Усж, МПа		К <sub>В</sub>	К <sub>ВД</sub>	tgц	С <sub>Л</sub> , МПа	у <sub>р</sub> , МПа	В, %
					20 °С	50 °С						
Требования ГОСТ 31015-2002 [9]		15-19	1,5-4,5	1-4	≥2,2	≥0,65	-	≥0,85	≥0,93	≥0,18	≥2,5≤6	≤0,2
0	-	16,7	2,5	2,7	4,7	1,1	0,99	0,88	0,94	0,21	3,8	0,14
1	100 (0)	16,6	2,3	2,3	5,0	1,2	0,99	0,90	0,93	0,22	3,9	0,15
3	100 (0)	16,6	2,4	2,1	5,1	1,2	0,95	0,87	0,95	0,22	4,1	0,12
5	100 (0)	16,7	2,5	2,0	5,0	1,2	0,96	0,88	0,94	0,22	4,0	0,11
5 крупная	100 (0)	16,9	2,7	2,1	4,9	1,2	0,96	0,87	0,94	0,22	4,0	0,11
5 мелкая	100 (0)	16,7	2,5	2,0	5,0	1,2	0,96	0,88	0,94	0,22	4,0	0,11
7	100 (0)	17,0	2,9	2,0	5,2	1,2	0,96	0,87	0,93	0,23	4,1	0,11
9	100 (0)	17,4	3,3	2,2	4,4	1,0	0,96	0,87	0,94	0,19	3,5	0,12
5	87,5 (12,5)	16,6	2,4	2,2	4,4	1,0	0,96	0,87	0,94	0,19	3,5	0,10
5	75 (25)	16,8	2,6	2,4	4,2	1,0	0,94	0,85	0,93	0,19	3,3	0,09
5	50 (50)	17,4	3,3	3,2	3,7	0,9	0,91	0,82	0,94	0,16	3,0	0,08
5	25 (75)	18,2	4,2	3,7	3,5	0,8	0,87	0,79	0,95	0,15	2,8	0,06
5	0 (100)	18,8	5,0	4,0	3,1	0,7	0,82	0,75	0,93	0,14	2,5	0,04

V<sup>M</sup> – пористость минеральной части; V<sup>O</sup> – остаточная пористость; W – водонасыщение; усж – предел прочности при сжатии; К<sub>В</sub> – водостойкость; К<sub>ВД</sub> – водостойкость при длительном водонасыщении; tgц – коэффициент внутреннего трения; С<sub>Л</sub> – сцепление при сдвиге при температуре 50 °С; у<sub>р</sub> – трещиностойкость; В – стекание вяжущего.

В ЦМА с противоморозными добавками в количестве 5 %, состоящими из смеси NaCl и CaCl<sub>2</sub>, по мере увеличения доли хлористого кальция возрастают скорости изменения значений остаточной пористости, водонасыщения, предела прочности и трещиностойкости.

Использование в качестве противоморозной добавки кристаллической соли CaCl<sub>2</sub> в количестве 5 % от минеральной части приводит к наибольшему ухудшению свойств ЦМА. Например, значение прочности ЦМА при сдвиге при температуре +50 °С и другие показатели не соответствует ГОСТ 31015-2002 [10]. Ухудшение свойств ЦМА при введении сильно гигроскопической соли CaCl<sub>2</sub> можно объяснить быстрой растворимостью впитываемой ею водой и вымываемостью соли из структуры ЦМА, которая приводит к повышению остаточной пористости и повышенной водонасыщаемости. Следствием этого является снижение значений предела прочности при сжатии и трещиностойкости. Пропорциональное снижение значений стекаемости битума по мере увеличения содержания противоморозных солей, особенно соли CaCl<sub>2</sub>, может быть объяснено насыщением дисперсного минерального порошка ионами Na<sup>+</sup> и Ca<sup>2+</sup>. В результате этого увеличивается структурирующая способность поверхностей минеральных зерен, происходит увеличение толщины структурированных слоев вяжущего. При этом с целью получения удобообрабатываемой и пластичной смеси потребуется вводить большее количество битума, то есть может увеличиться битумоемкость ЦМА. Для проверки данного предположения проведен специальный опыт с образцами антигололедного ЦМА с 6 и 8 % битума. Результаты этого опыта приведены в табл. 4.

Таблица 4

## Физико-механические свойства ЦМА с различным содержанием битума

Кол-во (вид соли), % от массы мин. части	Кол-во битума, % от массы мин. части	V <sup>M</sup> , %	V <sup>O</sup> , %	W, %	Усж, МПа		К <sub>В</sub>	К <sub>ВД</sub>	tgц	С <sub>Л</sub> , МПа	у <sub>р</sub> , МПа	В, %
					20 °С	50 °С						
Требования ГОСТ 31015-2002 [9]		15-19	1,5-4,5	1-4	≥2,2	≥0,65	-	≥0,85	≥0,93	≥0,18	≥2,5≤6	≤0,2
5 (NaCl)	6	16,7	2,5	2,0	5,0	1,2	0,96	0,88	0,94	0,22	4,0	0,11
5 (CaCl <sub>2</sub> )	8	16,5	2,3	1,8	4,9	1,2	0,95	0,81	0,94	0,21	3,9	0,12

Как видно из табл. 4, значения показателей антигололедного ЩМА с содержанием битума в 6 и 8 %, за исключением коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении, близки между собой.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о возможности получения антигололедных ЩМА с добавками кристаллических NaCl или смеси NaCl и CaCl<sub>2</sub> в количестве 5 % от массы минеральной части с соотношением хлористого кальция к хлористому натрию не более 1:8. Введение в ЩМА противоморозной добавки NaCl в количестве 5 % уменьшает адгезию льда при -10 °С в 2,5 раза. Внесение в состав противоморозной добавки 12,5 % хлористого кальция (от массы всей соли) позволяет снизить величину адгезии на 17 % и довести температуру смерзания раствора на поверхности покрытия до -10 °С.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОДМ. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах / Утв. распоряж. Росавтодора Минтранса РФ от 16.06.2003, № ОС-548-р. – 114 с.
2. Розов Ю.Н., Розов С.Ю., Френкель О.В. Противогололедные материалы для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах: обзорная информация. – М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2006. – 104 с.
3. Dupuis I., Hussain N. Glatteishemmender Strassenbelag auf der Umfahrungsstrasse von Valangin // *Strasse und Verkehr*, 1977, v. 63, № 4.
4. Салихов М.Г., Хамзин М.Х., Щербаков Ю.Е., Куклин А.Ю., Марков Е.В. О разработке составов, производстве и укладке асфальтобетонов с пониженной адгезией льда // *Сб. научных трудов Всероссийской НПК. Современные научно-технические проблемы транспортного строительства. – Казань: КазГАСУ, 2006. – С. 104-106.*
5. Кудрявцев А.В. Гидрофобизация дорожного покрытия для борьбы с гололедом // *Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Сборник материалов международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. – С. 200-201.*
6. Лысенко В.Е. Антигололедное покрытие // *Автомобильные дороги*, 1996, № 4. – С. 18.
7. Котухов А.Н. Антигололедный асфальтобетон для дорожного строительства: дис. ... канд. техн. наук. – Белгород: БГТУ им. Шухова, 2003. – 198 с.
8. Ковалев Н.С., Ромасев В.И. Противогололедные битумо-минеральные смеси для строительства автомобильных дорог // *Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції «Динаміка наукових досліджень – 2005». Том 48. Будівництво та архітектура. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – С. 26-29.*
9. Салихов М.Г., Щербаков Ю.Е., Федоров А.А., Онучин В.М., Курандин С.С., Сапцин В.П. Влияние крупности зерен обработанной битумом противоморозной соли на ее растворимость и адгезию льда к поверхности асфальтобетона // *Межвузовский сборник научных статей. Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов – 2007. – Йошкар-Ола: МГТУ, 2008. – С. 217-221.*
10. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетоны щебеночно-мастичные. Технические условия. – М., 2002. – 22 с.