

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОБАВКИ
КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ УКРЕПЛЕНИИ
ПЕСЧАНЫХ И КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ГРУНТОВ**

Канд. техн. наук **А.И. Траутвайн**,
канд. техн. наук **А.Е. Акимов**
(Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова)
Конт. информация: trautvain@bk.ru;
akimov548@gmail.com

В статье приведены результаты по разработке конструктивных слоев основания дорожной одежды автомобильной дороги «Автозимник продленного действия станция Обская – км 193» с использованием полимерного стабилизатора «Чимстон-1». Установлено, что применение такого стабилизатора является обязательным, так как его присутствие в системе позволяет получить материал, удовлетворяющий нормативным требованиям по морозостойкости, а также обеспечить надежную работу конструкции в условиях Крайнего Севера. Максимальную эффективность по физико-механическим характеристикам показали составы в присутствии добавки «Чимстон-1» на основе дробленого песка при использовании цемента в количестве 7 %, для щебеночно-песчаных смесей типов С-7 и С-6 – в количестве 9 %.

Ключевые слова: дробленый песок, щебеночно-песчаная смесь, укрепление, стабилизация, конструктивные слои дорожной одежды, добавка комплексного действия «Чимстон-1».

Ключевым направлением развития дорожно-транспортной инфраструктуры в последнее время является увеличение срока службы дорожных одежд.

На протяжении последних 20-ти лет увеличение жизненного цикла автомобильных дорог достигалось за счет повышения физико-механических характеристик асфальтобетонного покрытия. Однако в настоящее время работа в данном направлении уже не дает требуемого эффекта. В первую очередь это связано с тем, что темпы роста нагрузок на дорожную конструкцию, грузоподъемные характеристики автомобилей, интенсивность движения транспортного потока так высоки, что одно только повышение физико-механических характеристик асфальтобетонного покрытия не позволяет обеспечить транспортно-

эксплуатационные характеристики автомобильной дороги в целом в течение межремонтного периода. Решение данной проблемы возможно только за счет увеличения несущей способности слоев основания и, как следствие, получения прочной и надежной дорожной конструкции. Асфальтобетонное покрытие может оставаться безопасным и качественным на протяжении длительного срока только при условии высокой прочности и деформационной устойчивости нижележащих конструктивных слоев дорожной одежды [1-4].

В настоящее время действует Постановление Правительства Российской Федерации от 30 мая 2017 года № 658 [5], согласно которому (Приложение № 4) межремонтные сроки эксплуатации автомобильных дорог федерального значения с усовершенствованным типом покрытия увеличены до 12 лет, по капитальному ремонту – до 24 лет. Кроме того, в соответствии с ГОСТ Р 58861-2020 [6] расчетный срок службы между капитальными ремонтами для дорожных одежд нежесткого типа увеличен до 24 лет (капитального и облегченного типа) и 10 лет (переходного типа). Исходя из этого, от дорожных организаций требуется поиск решений задачи по строительству и капитальному ремонту автомобильных дорог с высоким эксплуатационным ресурсом.

Одно из возможных решений данной задачи заключается в создании жесткой конструкции дорожной одежды за счет устройства прочного основания из укрепленных и стабилизированных грунтов и каменных материалов, а также цементобетонных покрытий [4, 7-9].

При устройстве данных конструктивных слоев предполагается использование неорганического вяжущего, а именно цемента. Цемент для дорожного строительства должен обладать не только высокой активностью, но и химической и коррозионной стойкостью. К сожалению, на современном этапе производители цемента не уделяют данному вопросу необходимого внимания, поэтому бетонные изделия для дорожного строительства быстро теряют свою эксплуатационную надежность за короткий промежуток времени [10].

Целью рассматриваемой в данной статье научно-исследовательской работы являлась оценка эффективности использования стабилизирующей добавки комплексного действия «Чимстон-1» для повышения несущей способности конструктивных слоев основания дорожных одежд автомобильных дорог за счет ее применения при укреплении различных видов несвязных грунтов в комплексе с неорганическим вяжущим.

При проведении исследований в качестве крупнообломочных и песчаных грунтов для устройства конструктивных слоев основания дорожной одежды использовали следующие каменные материалы карьера

№ 4 (полуостров Ямал вблизи Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения):

- дробленый песок фракции 0-5 мм по ГОСТ 32730-2014;
- щебеночно-песчаные смеси (ЩПС) С-7 и С-6 по ГОСТ 25607-2009.

Гранулометрический состав данных материалов представлен в **табл. 1-2**, физико-механические характеристики – в **табл. 3-4**. Исследования дробленого песка проводили по следующим нормативным документам: ГОСТ 32727-2014, ГОСТ 32725-2014, ГОСТ 32726-2014; ЩПС (С-6 и С-7) – согласно ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 25607-2009. В ходе работы использовали неорганическое вяжущее – цемент ЦЕМ I класса 42,5Н ГОСТ 31108 по ГОСТ 31108-2016 (действовавшему в период проведения исследований), физико-механические характеристики которого представлены в **табл. 5**. Требования к полимерному стабилизатору «Чимстон-1» представлены в ТУ 2493–001–97980347–2016.

Таблица 1

Гранулометрический состав дробленого песка фракции 0-5 мм

<i>Гранулометрический состав</i>	<i>Полный остаток на ситах, % размером отверстий, мм</i>						
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,05
<i>Дробленый песок</i>	2,2	29,4	50,9	64,2	77,8	86,5	94,8

Таблица 2

Гранулометрические составы щебеночно-песчаных смесей С-6 и С-7

<i>Гранулометрический состав ЩПС</i>	<i>Полный остаток на ситах, % размером отверстий, мм</i>						
	20	10	5	2,5	0,63	0,16	0,05
<i>С-7</i>	0	12,7	43,9	54,1	73,1	92,4	97,0
<i>С-6</i>	2,7	44,0	68,6	77,7	86,4	92,5	96,0

Таблица 3

Результаты определения физико-механических характеристик щебеночно-песчаной смеси С-7 и С-6

<i>Показатель</i>	<i>Требования ГОСТ 25607</i>	<i>Фактические данные</i>	
		<i>С-7</i>	<i>С-6</i>
<i>Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе</i>	Не более 10	3,0	2,8
<i>Содержание глины в комках, % по массе</i>	Не более 10	Не обнаружено	Не обнаружено

Таблица 4

Результаты определения физико-механических характеристик дробленого песка

<i>Показатель</i>	<i>Требования ГОСТ 32730 и ГОСТ 23558</i>	<i>Фактические данные</i>
<i>Содержание зерен крупностью, % по массе</i>		
<i>свыше 8 мм</i>	Не более 2,0	0,0
<i>свыше 4 мм</i>	Не более 12,0	2,2
<i>менее 0,125 мм</i>	Не более 10,0	8,2
<i>Модуль крупности</i>	-	2,6
<i>Группа песка</i>	-	средний
<i>Класс песка</i>	-	II
<i>Полный остаток на сите с размером 0,5 мм, % по массе</i>	От 40 до 55	51,4
<i>Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе</i>	Не более 10	8,3
<i>Содержание глины в комках, % по массе</i>	2	Не обнаружено

Таблица 5

Физико-механические характеристики цемента ЦЕМ I 42,5

<i>Наименование показателя</i>	<i>Требования по ГОСТ 31108-2016</i>	<i>Фактические результаты</i>
<i>Прочность на сжатие, МПа, в возрасте 7 сут. 28 сут.</i>	не нормируется не менее 42,5	30,3 44,8
<i>Начало схватывания, мин</i>	не ранее 60	68

Максимальную плотность и оптимальную влажность исследуемых грунтов определяли по ГОСТ 22733-2016. Максимальная плотность дробленого песка составляла 1,49 г/см³ при оптимальной влажности 8,2 %; ЩПС С-7 – 1,37 г/см³ при оптимальной влажности 5,7 %; ЩПС С-6 – 1,41 г/см³ при оптимальной влажности 4,5 %. Требования к материалам для устройства конструктивных слоев дорожной одежды на основе исследуемых песчаных и крупнообломочных грунтов, а также методы их исследования указаны в ГОСТ 23558-94. Прочностные характеристики образцов композиционных материалов определяли согласно ГОСТ 10180-2012, морозостойкость – по ГОСТ 10060-2012.

При проведении исследований по влиянию добавки «Чимстон-1» на физико-механические характеристики крупнообломочных и песчаных грунтов было приготовлено несколько серий образцов, с разным количеством вводимого неорганического вяжущего (5, 7 и 9 %) в присутствии стабилизатора и без него. Содержание добавки «Чимстон-1» было постоянным и составляло 0,007 % от массы грунта. Данную добавку вводили в воду затворения для достижения максимальной плотности образцов.

Оценка эффективности добавки «Чимстон-1», полимерного стабилизатора для грунтов, заключалась в установлении целесообразности ее использования при устройстве конструктивных слоев основания автомобильной дороги «Автозимник продленного действия станция Обская – км 193». Автозимник войдет в состав объекта строительства «Новая железнодорожная линия Обская – Бованенково» и предназначен, в частности, для сообщения с крупнейшим на полуострове Ямал Бованенковским нефтегазоконденсатным месторождением, эксплуатация которого началась в 2012 г.

Результаты физико-механических характеристик различных составов исследуемых композитов представлены на диаграммах (рис. 1-4).

Анализ данных, представленных на рис. 1 и 4, показывает, что дробленый песок, укрепленный цементом ЦЕМ I класса 42,5Н в количестве 5 % от массы минеральной части, не соответствует требованиям ГОСТ 23558 по показателю прочности на растяжение при изгибе (фактическое значение – 0,65 МПа; нормативные требования – не менее 0,8 МПа). По показателю морозостойкости образцы на основе песка в комплексе с цементом не соответствуют проектным требованиям (требуемая марка не ниже F50; фактическая марка при введении 5 % неорганического вяжущего составила F15, при введении 7 % и 9 % цемента – F25).

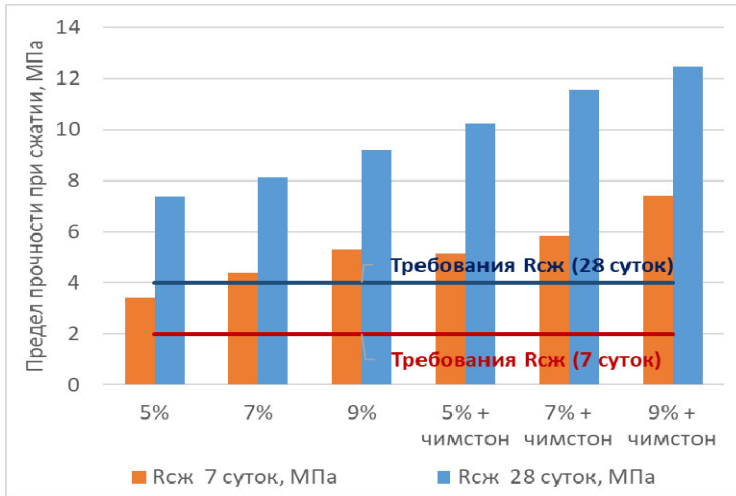
Применение модификатора «Чимстон-1» в количестве 0,007 % от массы минеральной части в составе дробленого песка, укрепленного цементом ЦЕМ 42,5Н в количестве 5 %, позволяет увеличить: прочность при сжатии на 39 %; прочность при растяжении при изгибе – на 78 %; показатель морозостойкости с F15 до F25 по сравнению с контрольным образцом без модификатора. При этом по показателю морозостойкости образцы также не соответствуют проектному значению F50.

Применение модификатора «Чимстон-1» в количестве 0,007 % от массы минеральной части в составе дробленого песка, укрепленного цементом ЦЕМ I класса 42,5Н в количестве 7 %, позволяет увеличить прочность при сжатии на 42,4 %; прочности при растяжении при изгибе – на 107 % по сравнению с контрольным образцом без модификатора. Марка по морозостойкости увеличивается с F25 до F50.

Применение модификатора «Чимстон-1» в количестве 0,007 % от массы минеральной части в составе дробленого песка, укрепленного цементом ЦЕМ I класса 42,5Н в количестве 9 %, позволяет увеличить прочность при сжатии на 35,1 %; прочности при растяжении при изгибе – на 44 % по сравнению с контрольным образцом без модификатора. Марка по морозостойкости увеличивается с F25 до F50. Таким образом, стабилизатор «Чимстон-1» позволяет получить составы на основе дробленого песка, укрепленного цементом в количестве 7 и 9 %, соответствующие требованиям ГОСТ 23558 и проектным требованиям.

Анализ результатов, представленных на рис. 2 и 4, показывает, что ЩПС марки С-7, укрепленный цементом класса ЦЕМ 42,5Н в количестве 5 и 7 % от массы минеральной части, не соответствует требованиям ГОСТ 23558 по показателю прочности на растяжение при изгибе (фактическое значение при введении 5 % цемента – 0,70 МПа; 7 % – 0,77 МПа; нормативные требования – не менее 0,8 МПа).

а)



б)

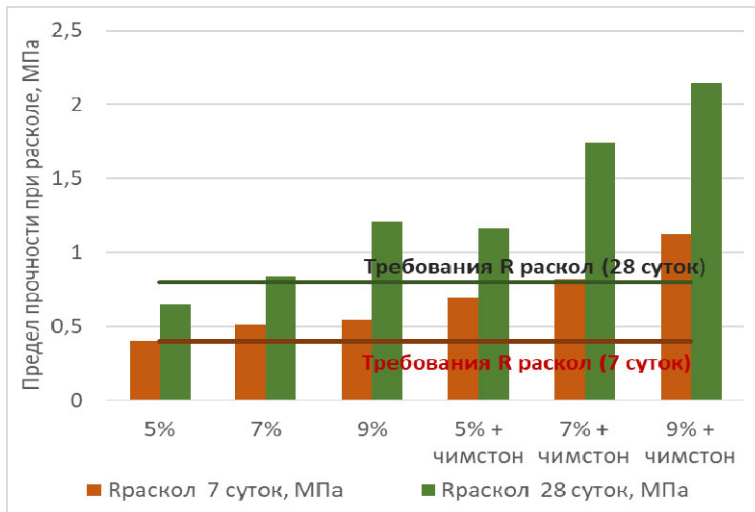
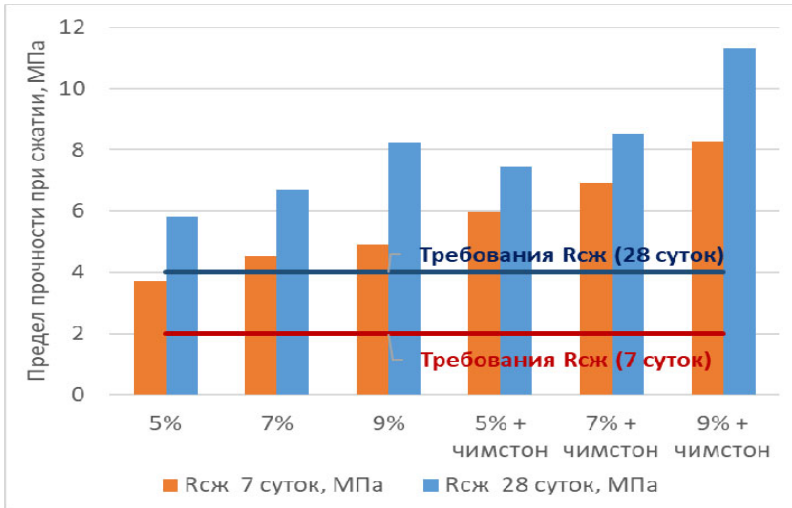


Рис. 1. Предел прочности при сжатии (а) и расколе (б) образцов дробленого песка, укрепленного различным количеством цемента в комплексе с добавкой «Чимстон-1» и без нее

а)



б)

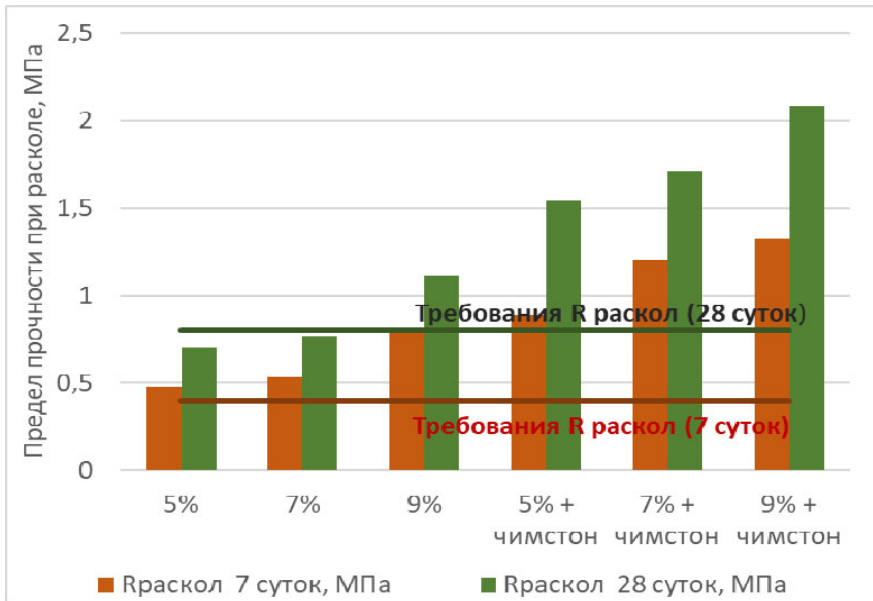
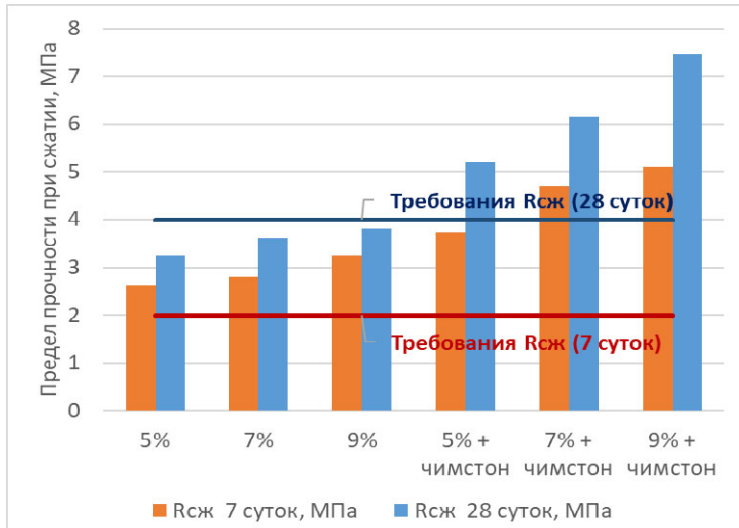


Рис. 2. Предел прочности при сжатии (а) и расколе (б) образцов смеси ЦПС С-7, укрепленной различным количеством цемента в комплексе с добавкой «Чимстон-1» и без нее

а)



б)

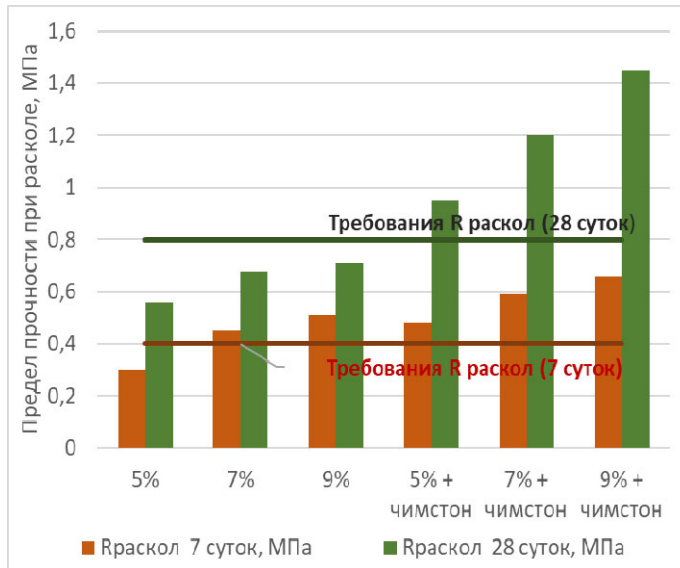


Рис. 3. Предел прочности при сжатии (а) и расколе (б) образцов смеси ЦПС С-6, укрепленной различным количеством цемента в комплексе с добавкой «Чимстон-1» и без нее

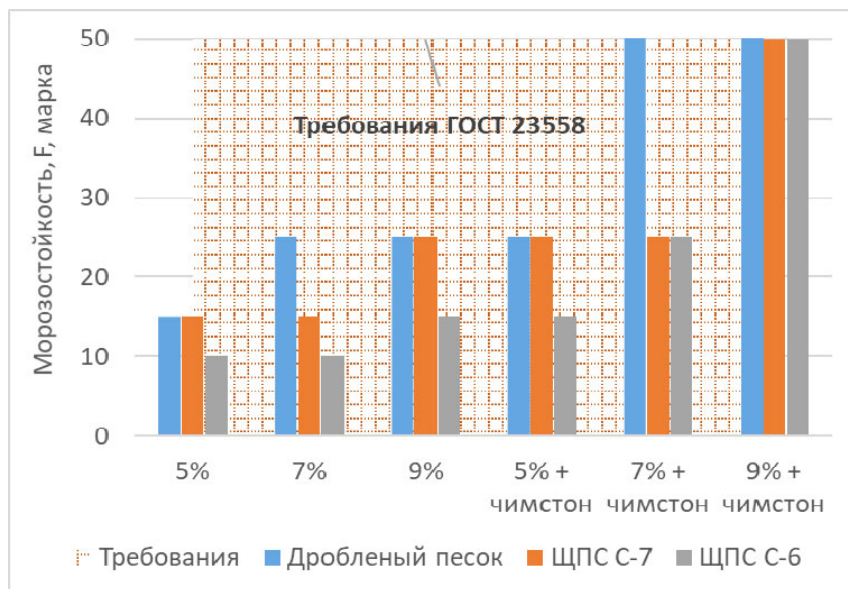


Рис. 4. Морозостойкость образцов, укрепленных цементом в комплексе с добавкой «Чимстон-1» и без ее использования

По показателю морозостойкости исследуемые составы на основе ЩПС С-7, укрепленные цементом в разном количестве, не соответствуют проектным требованиям (фактическая марка – для образцов с 5 и 7 % вяжущего составляет F15, с 9 % цемента – F25).

Применение модификатора «Чимстон-1» в количестве 0,007 % от массы минеральной части в составе ЩПС марки С-7 и цемента в количестве 5 % позволяет увеличить: прочность при сжатии на 27,5 %; прочность при растяжении при изгибе – на 120 %; показатель морозостойкости – с F15 до F25 по сравнению с контрольным образцом без модификатора. При этом по показателю морозостойкости состав по-прежнему не соответствует проектному значению и относится к марке F25.

Применение модификатора «Чимстон-1» в количестве 0,007 % в комплексе с цементом в количестве 7 % позволяет увеличить: прочность при сжатии на 31,2 %; прочность при растяжении при изгибе – на 122 % по сравнению с контрольным образцом без модификатора. Марка по морозостойкости увеличивается с F15 до F25.

Применение модификатора «Чимстон-1» в количестве 0,007 % от массы минеральной части в составе ЩПС марки С-7, укрепленного це-

ментом в количестве 9 %, позволяет увеличить: прочность при сжатии – на 37,2 %; прочность при растяжении при изгибе – на 87,4 % по сравнению с контрольным образцом без модификатора. Марка по морозостойкости увеличивается с F25 до F50. По физико-механическим характеристикам и морозостойкости данный состав соответствует требованиям ГОСТ 23558 и проектным требованиям.

Анализ результатов, представленных на **рис. 3** и **4**, показывает, что состав ЩПС марки С-6 при укреплении цементом класса ЦЕМ 42,5Н в количестве 5, 7 и 9 % от массы минеральной части не соответствует требованиям ГОСТ 23558 по ряду показателей:

- прочности при сжатии (фактическое значение при введении: 5 % цемента составляет 3,25 МПа; 7 % вяжущего – 3,61 МПа; 9 % вяжущего – 3,81 МПа; требуемое значение должно составлять не менее 4,0 МПа);
- прочности на растяжение при изгибе (фактическое значение при использовании 5 % вяжущего составляет 0,56 МПа; 7 % вяжущего – 0,68 МПа; 9 % вяжущего – 0,71 МПа; нормативные требования – не менее 0,8 МПа);
- морозостойкости (требуемая марка не ниже F50; фактическая марка – F10 при введении 5 и 7 % цемента и F15 – при укреплении смеси 9 % вяжущего).

Применение модификатора «Чимстон-1» в количестве 0,007 % от массы минеральной части в составе ЩПС марки С-6, укрепленного цементом в количестве 5 %, позволяет увеличить: прочность при сжатии на 62 %; прочность при растяжении при изгибе – на 69 %; показатель морозостойкости – с F10 до F15 по сравнению с контрольным образцом без модификатора.

Использование стабилизирующей добавки «Чимстон-1» в составе ЩПС марки С-6, укрепленной цементом в количестве 7 %, позволяет увеличить: прочность при сжатии на 70,0 %; прочность при растяжении при изгибе – на 76 % по сравнению с контрольным образцом без модификатора. Марка по морозостойкости увеличивается с F10 до F25. Введение добавки «Чимстон-1» в количестве 0,007% в составе ЩПС марки С-6, укрепленной цементом в количестве 9 %, позволяет увеличить: прочность при сжатии на 95 %; прочность при растяжении при изгибе – на 104,0 % по сравнению с контрольным образцом без модификатора. Марка по морозостойкости увеличивается с F15 до F50. Таким образом, по физико-механическим характеристикам и морозостойкости состав с

использованием цемента в количестве 9 % в комплексе с «Чимстон-1» соответствует требованиям ГОСТ 23558 и проектным требованиям.

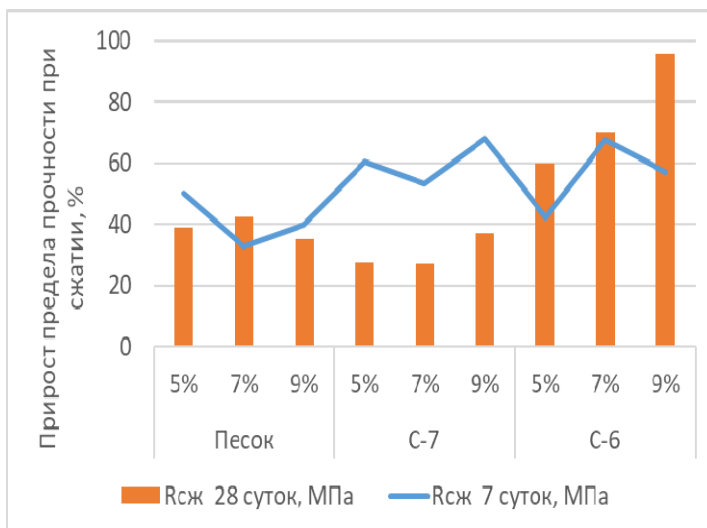
Применение полимерной добавки «Чимстон-1» при укреплении песчаных и крупнообломочных грунтов неорганическим вяжущим на основе цемента при устройстве конструктивных слоев основания дорожной одежды демонстрирует высокую эффективность ее использования. При этом можно отметить следующие особенности динамики набора прочности для образцов на основе исследуемых рыхлых грунтов различного гранулометрического состава, которая представлена на **рис. 5**.

Максимальное увеличение прочностных характеристик образцов на основе исследуемых материалов наблюдается при стабилизации крупнообломочных грунтов на основе ЩПС типа С-6, в которых размер фракции составляет от 0 до 20 мм. Так, прирост прочности образцов при сжатии на основе дробленого песка, а также ЩПС С-7 в присутствии добавки «Чимстон-1» в возрасте 28 суток варьируется в пределах 28-39 %; образцов на основе ЩПС С-6 – в пределах 60-95 %.

Кроме того, важно отметить, что для образцов на основе ЩПС С-7 наблюдается высокий темп набора прочности в первые 7 суток. Изменение показателя составляет от 60 до 70 %. Для образцов из ЩПС типа С-6 увеличение предела прочности при сжатии на 7 сутки менее динамично, чем на 28 суток и составляет от 40 до 60 %, а для дробленого песка – от 32 до 50 %.

Исходя из анализа полученных результатов, можно предположить, что стабилизирующая добавка «Чимстон-1», адсорбируясь на поверхности частиц песчаного и крупнообломочного грунта, вступает во взаимодействие с неорганическим вяжущим композита. При этом данная добавка влияет на механизм гидравлической активности композита в процессе набора марочной прочности, что подтверждается в большей степени при исследовании прочностных характеристик образцов на основе ЩПС. Так, с увеличением количества вяжущего в присутствии добавки «Чимстон-1» наблюдается более высокий прирост прочности образцов при сжатии. Увеличение количества вяжущего при введении добавки в состав образцов на основе ЩПС способствует максимальному набору прочности при сжатии образцов с содержанием 9 % цемента.

а)



б)

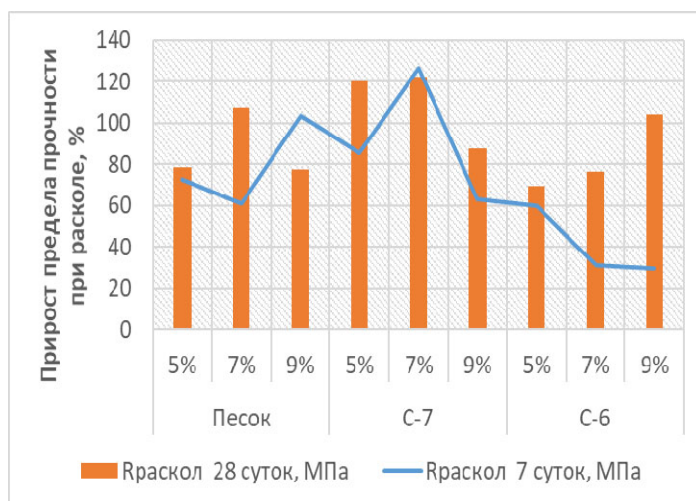


Рис. 5. Прирост предела прочности при сжатии (а) и при расколе (б) образцов при введении полимерного стабилизатора «Чимстон-1»

Химически активные компоненты полимерного стабилизатора – добавки «Чимстон-1» – оказывают влияние на активность цемента, что способствует стремительному набору прочности образцов при сжатии в возрасте 28 суток на основе песка при минимальном количестве цемента (5 %). Однако по мере увеличения количества вяжущего в составе композиционного материала на основе дробленого песка темпы набора прочности при сжатии образцов изменяются незначительно. Возможно, это связано с более высокой удельной поверхностью минеральных зерен дробленого песка по сравнению с ЩПС и необходимостью увеличения количества вводимой добавки.

Введение добавки «Чимстон-1» приводит к значительному приросту предела прочности при расколе для всех исследуемых составов по сравнению с пределом прочности при сжатии. Высокие значения показателя предела прочности при расколе модифицированных образцов характеризуют устойчивое сопротивление материала малым пластическим деформациям, характерным для слоев основания дорожных одежд, и способствуют повышению несущей способности всей конструкции автомобильной дороги.

Прирост прочности при расколе образцов в возрасте 28 суток, приготовленных с использованием песка, и ЩПС типа С-7, характеризуется максимальными значениями при введении 7 % цемента (107 и 122 % соответственно), а для образцов на основе ЩПС типа С-6 при его укреплении 9 % неорганического вяжущего – 104 %. График изменения предела прочности при расколе (**рис. 5 б**) демонстрирует, что интенсивность набора прочности при расколе образцов в первые 7 суток минимальна для пористого состава ЩПС С-6 среди исследуемых составов и варьируется в диапазоне от 30 до 60 %. Однако к 28 суткам твердения темпы набора прочности при расколе образцов данного состава увеличиваются до 100 % (в присутствии 9 % вяжущего). Для образцов композиционных материалов на основе дробленого песка и ЩПС типа С-7 характерно значительное увеличение прочности при расколе уже в первые 7 суток набора прочности. Возможно, более плотная упаковка частиц материала способствует максимально интенсивному структурообразованию композита за счет полного взаимодействия активных компонентов добавки «Чимстон-1» и неорганического вяжущего в первые сутки набора прочности образцов.

ВЫВОДЫ

1. При разработке конструктивных слоев основания дорожной одежды автомобильной дороги «Автозимник продленного действия станция Обская – км 193» обязательным условием являлось использование полимерного стабилизатора «Чимстон-1», так как присутствие данной добавки в системе позволяет получить материал, удовлетворяющий нормативным требованиям по морозостойкости, и обеспечить надежную работу дорожной конструкции в условиях Крайнего Севера.
2. Максимальную эффективность по физико-механическим характеристикам показали составы в присутствии добавки «Чимстон-1» на основе дробленого песка при использовании цемента в количестве 7 %; для ЩПС типов С-7 и С-6 – в количестве 9 %.
3. Приведенный эксперимент нельзя рассматривать как полностью заверченный, поскольку необходимо изучить характер изменения физико-механических характеристик образцов, приготовленных на материалах различного гранулометрического состава и с разным количеством вводимой добавки. Исследования могут быть продолжены с целью оптимизации составов дорожно-строительных смесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радовский Б.С. *Строительство дорог с цементобетонными покрытиями в США: новые тенденции* / Б.С. Радовский // *Дорожная техника: каталог-справочник* / ООО «Славутич». – СПб, 2010. – С. 62–70.
2. Клековкина М.П. *Пути совершенствования конструкций дорожных одежд с применением фрагментированного цементобетонного основания* / М.П. Клековкина, Э.Д. Бондарева // *Проектирование автомобильных дорог*. – 2019. – С. 77-83.
3. Эккель С.В. *Некоторые вопросы строительства и ремонта цементобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов* / С.В. Эккель // *Цемент и его применение*. – 2017. – №. 6. – С. 78-86.
4. Иванов И.М. *Бетон на основе шлакопортландцемента для дорожных и аэродромных покрытий* / И.М. Иванов, Л.Я. Крамар, А.А. Кирсанова // *Цемент и его применение*. – 2019. – №. 2. – С. 96-102.
5. *О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитал-*

- ный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения / Постановление Правительства Российской Федерации от 30 мая 2017 года № 658 // Утверждён 30.05.2017 Правительством Российской Федерации (658). – Москва. – 12 с.
6. ГОСТ Р 58861-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Капитальный ремонт и ремонт. Планирование межремонтных сроков. – М.: Стандартинформ, 2020. – 19 с.
 7. Житников Е.П. Конструкции жестких дорожных одежд с цементобетонным покрытием для автомобильных дорог общего пользования в условиях Донбасса / Е.П. Житников, Д.И. Степанов, М.И. Понаморов, Д.И. Бородай // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – №. 1. – С. 133-138.
 8. Денисенко Д.А. Современный подход к цементным тяжелым бетонам в условиях строительства скоростных автомобильных дорог / Д.А. Денисенко, М.П. Клековкина, Б.Н. Карпов // Инновации и инвестиции. – 2021. – №. 7. – С. 123-126.
 9. Янковский Л.В. Альтернативы автомобильным дорогам с цементобетонными покрытиями в России нет / Л.В. Янковский // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – №. 2. – С. 18-20.
 10. Усачев С.М. Подбор состава бетона с комплексными добавками для дорожного строительства / С.М. Усачев, М.А. Чурсина, А.Д. Ерочкина, Т.А. Мартиросян // Химия, физика и механика материалов. – 2019. – С. 162.

L I T E R A T U R A

1. Radovskij B.S. Stroitel'stvo dorog s cementobetonnyimi pokrytiyami v SSHA: novye tendencii / B. S. Radovskij // Dorozhnaya tekhnika: katalog-spravochnik / ООО «Slavutich». – SPb, 2010. – С. 62–70.
2. Klekovkina M.P. Puti sovershenstvovaniya konstrukcij dorozhnyh odezhd s primeneniem fragmentirovannogo cementobetonnoho osnovaniya / M.P. Klekovkina, E.D. Bondareva // Proektirovanie avtomobil'nyh dorog. – 2019. – S. 77-83.
3. Ekkel' S.V. Nekotorye voprosy stroitel'stva i remonta cementobetonnyh pokrytij avtomobil'nyh dorog i aerodromov / S.V. Ekkel' // Cement i ego primenenie. – 2017. – №. 6. – S. 78-86.
4. Ivanov I.M. Beton na osnove shlakoportlandcementsa dlya dorozhnyh i aerodromnyh pokrytij / I.M. Ivanov, L.YA. Kramar, A.A. Kirsanova // Cement i ego primenenie. – 2019. – №. 2. – S. 96-102.
5. O normativah finansovyh zatrat i Pravilah rascheta razmera byudzhetyh assignovanij federal'nogo byudzheta na kapital'nyj

- remont, remont i sodержanie avtomobil'nyh dorog federal'nogo znacheniya / Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 30 maya 2017 goda № 658 // Utverzhdyon 30.05.2017 Pravitel'stvom Rossijskoj Federacii (658). – Moskva. – 12 s.*
6. *GOST R 58861-2020. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Kapital'nyj remont i remont. Planirovanie mezhremontnyh srokov. – M.: Standartinform, 2020. – 19 s.*
 7. *Zhitnikov E.P. Konstrukcii zhestkih dorozhnyh odezhd s cementobetonnyim pokrytiem dlya avtomobil'nyh dorog obshchego pol'zovaniya v usloviyah Donbassa / E.P. Zhitnikov, D.I. Stepanov, M.I. Ponamoren, D.I. Borodaj // Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury. – 2020. – №. 1. – S. 133-138.*
 8. *Denisenko D.A. Sovremennyy podhod k cementnym tyazhelym betonam v usloviyah stroitel'stva skorostnyh avtomobil'nyh dorog / D.A. Denisenko, M.P. Klekovkina, B.N. Karpov // Innovacii i investicii. – 2021. – №. 7. – S. 123-126.*
 9. *Yankovskij L.V. Al'ternativy avtomobil'nyim dorogam s cementobetonnyimi pokrytiami v Rossii net / L.V. Yankovskij // Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrasli. – 2013. – №. 2. – S. 18-20.*
 10. *Usachev S.M. Podbor sostava betona s kompleksnymi dobavkami dlya dorozhnogo stroitel'stva / S.M. Usachev, M.A. Chursina, A.D. Erochkina, T.A. Martirosyan // Himiya, fizika i mekhanika materialov. – 2019. – S. 162.*

**EFFICIENCY ANALYSIS OF USING COMPLEX ACTION ADDITIVE
WHEN STRENGTHENING SANDY AND
MACROFRAGMENTAL SOILS**

*Ph. D. (Tech.) A.I. Trautvain,
Ph. D. (Tech.) A.E. Akimov
(Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov)
Contact information: trautvain@bk.ru;
akimov548@gmail.com*

The article presents the development results of road pavement structural base layers of «Extended-action Winter Snow Road Station Obskaya – km 193 » using the polymer stabilizer «Chimston-1».

It has been determined that the stabilizer application is indispensable, since its presence in the system enables to obtain a material that meets the regulatory requirements for frost resistance, as well as ensure reliable

operation of the structure in the Far North conditions. The compositions with the «Chimston-1» additive based on crushed sand with the use of cement in a quantity of 7 %, and for crushed-sand mixtures of types C-7 and C-6 – in a quantity of 9 % have shown the maximum efficiency in terms of physical and mechanical characteristics.

Key words: *crushed sand, crushed stone and sand mixture, strengthening, stabilization, road pavement structural layers, «Chimston-1» complex action additive.*

Рецензент: канд. техн. наук Н.Н. Беляев (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 08.12.2021 г.