

УДК 693.5
ББК 38.62
М-34

Матуа Вахтанг Парменович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы» дорожно-транспортного института Ростовского государственного строительного университета, т.: (863)2208971;

Сизонец Сергей Владимирович, аспирант кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы» дорожно-транспортного института Ростовского государственного строительного университета, т.: 89515090109, e-mail: sizonez@rambler.ru.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК
НА СВОЙСТВА УКРЕПЛЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫМИ ВЯЖУЩИМИ
ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ**
(рецензирована)

Данная статья посвящена влиянию добавок «ANT», «nanoSTAB» и «Nicoфлок» на снижение усадочных трещин щебеночно-песчаных смесей, укрепленных цементом (ЩПЦС).

Ключевые слова: щебеночно-песчаная смесь, сокращение объема, ускоренный набор прочности, усадочные трещины, добавки «ANT», « nanoSTAB» и «Nicoфлок», предел прочности на сжатие, предел прочности на растяжение при изгибе.

Matua Vakhtang Parmenovich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Highways and Airports of the Road Transport Institute, Rostov State University of Civil Engineering, tel.: (863) 2208971;

Sizonets Sergey Vladimirovich, post graduate student of the Department of Highways and Airports of the Road Transport Institute, Rostov State University of Civil Engineering, tel.: 89515090109, e-mail: sizonez@rambler.ru.

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF STABILIZERS ON THE PROPERTIES OF
CRUSHED STONE AND SAND MIXTURES STRENGTHENED WITH MINERAL BINDERS**
(Reviewed)

This article is devoted to the influence of additives «ANT», «nanoSTAB» and «Nicoфлок» on the reduction of shrinkage cracks of crushed stone and sand mixtures, reinforced with cement (CSSCM).

Keywords: crushed stone and sand mixture, volume reduction, fast cure, shrinkage cracks, additives «ANT», «nanoSTAB» and «Nicoфлок», compressive strength, tensile strength in bending.

Рост интенсивности движения, повышение грузоподъемности, осевых нагрузок и скорости движения автотранспортных средств приводят к преждевременному разрушению дорожных конструкций. Под воздействием многократно повторяющихся нагрузок уже на ранней стадии их эксплуатации наблюдается накопление необратимых (остаточных) деформаций в слоях дорожных одежд. Постепенное накопление пластических деформаций в элементах дорожных конструкций приводит к нарушению ровности поверхности дороги, что в свою очередь способствует значительному росту динамических воздействий от движущихся автомобилей и ускоренному образованию деформаций и разрушений различных форм и размеров. По мнению многих исследователей, изучение явления усадки связных дорожно-строительных материалов может дать ключ к разгадке физической природы весьма важного из свойств – ползучести. Поэтому вопросу изучения усадочных деформаций, начавшегося в конце прошлого века, и по сей день, уделяется большое внимание.

Вследствие этого, исследования, направленные на совершенствование методики проектирования дорожных одежд нежесткого типа, остаются весьма актуальными не только в России, но и за рубежом. Причем эти исследования не должны ограничиваться лишь модернизацией расчетной базы, а развиваться в направлении конструирования дорожных одежд. Такой подход подразумевает выработку окончательного решения и с учетом, прежде всего материаловедческих факторов, которые будут способствовать повышению срока службы как вновь проектируемых, так и находящихся в эксплуатации автомобильных дорог [1].

Опыт последних лет эксплуатации дорог показывает, что одним из путей снижения накопления остаточных деформаций в элементах дорожных конструкций, в том числе колеобразователя, является применение в слоях оснований дорожных одежд укрепленных минеральными вяжущими щебеночно-песчаных (ЩПС) или гравийно-песчаных (ГПС) смесей.

Главной задачей при этом является создание долговечного слоя основания. На автомобильных дорогах I, II, III технических категорий с большой интенсивностью и тяжелым составом движения преимущественно применяют щебеночно-песчаные смеси, укрепленные цементом (ЩПЦС) марок М40, М60, М75 или М100 (по ГОСТ 23558-94). При твердении на воздухе происходит усадка ЩПЦС, т.е. смесь сжимается и линейные размеры сокращаются. Усадка складывается из влажностной, карбонизационной и контракционной составляющих. Вследствие усадки возникают усадочные напряжения, поэтому сооружения большой протяженности разрезают усадочными швами во избежание появления трещин. Ведь при усадке 0,3 мм/м в конструктивном слое дорожной одежды длиной 30 м общая усадка составляет около 10 мм. Конструктивный слой из ЩПЦС высыхает снаружи, а внутри он еще долго остается влажным. Неравномерная усадка вызывает растягивающие напряжения в наружных слоях конструкции и появление внутренних трещин на контакте с заполнителем и в самом цементном камне. Для снижения усадочных напряжений и сохранения монолитности конструкций стремятся уменьшить усадку. Обычно усадка ЩПЦС происходит наиболее интенсивно в начальный период твердения, в дальнейшем она постепенно затухает. Установлено, что сокращение объема (контракция) системы является следствием меньшего объема вновь образуемых соединений, по сравнению с исходными [2]. Явление усадки ЩПЦС обусловлено физико-химическими процессами твердения и уменьшения объема цементного геля, потерей избыточной воды на испарение во внешнюю среду, на гидратацию с еще непрореагировавшими частицами цемента. Изучением контракционного эффекта показано, что практически весь ход процесса завершается в начальный период схватывания и твердения ЩПЦС. Следствием этого являются усадочные трещины в ЩПЦС. По мере твердения цементного геля, уменьшения его объема и образования кристаллических сростков усадка ЩПЦС затухает [3]. Уменьшить начальные усадочные трещины в ЩПЦС можно технологическими способами – подбором состава, увлажнением среды при тепловой обработке твердеющего бетона, увлажнением поверхности бетона и др., а также материаловедческими факторами – введением добавок. Добавки позволяют обеспечить высокую водонепроницаемость, трещиностойкость и долговечность конструктивного слоя дорожной одежды. При этом новый слой из ЩПЦС с использованием добавок обладает не только всеми положительными свойствами ЩПЦС, укрепленной минеральным вяжущим, но и нивелирует негативные стороны: низкие показатели проницаемости, предел прочности на растяжение при изгибе, предел прочности на сжатие, большие усадочные деформации.

С целью ускорения набора прочности и снижения усадочных трещин щебеночно-песчаных смесей укрепленных цементом (ЩПЦС), в ДорТрансНИИ РГСУ были проведены масштабные лабораторные исследования. Испытанию были подвержены образцы из ЩПЦС (в 3, 5, 7 суточном возрасте), с введением следующих стабилизирующих добавок:

- стабилизатор «NicoFloK», представляющий собой полимерно-минеральную композицию на основе редиспергируемых полимерных порошков и минеральных наполнителей [4];

- ионный стабилизатор «ANT», представляющий собой водорастворимую активную органо-минеральную добавку, содержащую амфотерные поверхностно-активные вещества и микроэлементы [5];

- полимерная эмульсия «nanoSTAB», представляющая собой водную дисперсию стирол-бутадиен-полимера SiO₂ [6].

Данные модификаторы создают прочные кристаллизационные и коагуляционные связи, применение которых рекомендуется совместно с минеральным вяжущим веществом. В этом случае модификатор способствует повышению физико-механических характеристик, а также снижению расхода минерального вяжущего [7]. Приготовление добавок осуществлялось в предварительно очищенной емкости путем смешения с необходимым количеством воды, а стабилизатора «NicoFloK» (порошок серого цвета) вводился во время смешения зернистых несвязных минеральных материалов с цементом. Введение добавок в ЩПЦС позволяет ускорить набор прочности и снизить усадочные трещины путем целенаправленного изменения структуры цементного камня. Роль этих добавок заключается, в основном, в активизации процесса гидратации цемента, вызывающей ускоренное образование гелей. В результате энергичных реакций обмена ускоренно выделяется свободная известь в раствор и повышается растворимость силикатных составляющих цемента, что приводит к образованию гелей гидроксидов металла и кальция. Одновременно ускоряется коагуляция появляющегося коллоидного раствора, при которой сближаются зерна цемента и частицы гидратных новообразований. Таким образом, для понимания механизма действия добавок необходимо учитывать, прежде всего, их влияние, во-первых, на вяжущее вещество как на источник создания пересыщения в растворе, во-вторых, на

жидкую фазу-воду затворения, из которой выделяются новообразования, и, в-третьих, на сами продукты гидратации. Это влияние разнообразно. Чаще всего оно носит кинетический характер: под воздействием добавок изменяются скорость растворения исходных вяжущих, выделение и рост конечных или промежуточных продуктов гидратации [8]. Для этого подбирались оптимальные составы щебеночно-песчаных смесей, укрепленных неорганическим вяжущим с различным процентным содержанием добавок, представленных в таблице 1.

Таблица 1 - Составы щебеночно-песчано-цементных смесей

№ п/п	Состав смесей, %				Содержание добавок от цемента, %		
	Щебень М1000	Песок	Цемент	Вода	ANT	nanoSTAB	Nicoflok
1	61	35	4	3,5			
2	61	35	4	3,5	0,3		
3	61	35	4	3,5		8,4	
4	61	35	4	3,5			10
5	62	35	3	2,5			
6	62	35	3	2,5	0,3		
7	62	35	3	2,5		11	
8	62	35	3	2,5			10

Цилиндрические образцы из исследуемых смесей изготавливались в формах, с диаметром и высотой 101 мм, методом прессования под нагрузкой 20МПа в течение 3 минут. После чего образцы извлекались и хранились в условиях естественного термо-влажностного режима, необходимое до испытаний время. Перед испытанием образцы подвергались в течение 72 часов капиллярному водонасыщению. Капиллярное водонасыщение образцов проводилось через слой влажного песка. Далее по ГОСТ 10180 определялась прочность образцов на сжатие и растяжение при изгибе.

Результаты испытаний щебеночно-песчаных смесей, укрепленных неорганическим вяжущим с различным процентным содержанием стабилизирующих добавок в возрасте 3,5,7 суток, представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты испытаний образцов из ЩПС с добавками в возрасте 3, 5, 7 суток

Наименование смеси	Цилиндры						Балочки					
	Предел прочности на сжатие $R_{сж}$, МПа, в зависимости от времени твердения образцов			Предел прочности на растяжение при изгибе $R_{изг}$, МПа, в зависимости от времени твердения образцов			Предел прочности на сжатие $R_{сж}$, МПа, в зависимости от времени твердения образцов			Предел прочности на растяжение при изгибе $R_{изг}$, МПа, в зависимости от времени твердения образцов		
	3 сут.	5 сут.	7 сут.	3 сут.	5 сут.	7 сут.	3 сут.	5 сут.	7 сут.	3 сут.	5 сут.	7 сут.
1. ЩПС+4% цемента	3,79	4,24	4,34	0,60	0,8	0,81	3,32	4,38	4,53	0,49	0,81	0,83
2. ЩПС+4% цемента+ANT	4,39	4,87	5,6	0,95	0,99	1,15	4,32	4,01	5,47	0,99	1,17	1,21
3. ЩПС+4% цемента+nanoSTAB	5,22	6,12	7,50	0,83	1,28	1,51	5,59	6,86	7,72	0,87	1,29	1,53
4. ЩПС+4% цемента+Nicoflok	3,95	4,47	5,10	0,71	0,85	0,99	3,89	4,12	4,97	0,58	1,03	1,10
5. ЩПС+3% цемента	3,11	3,51	3,94	0,41	0,45	0,48	3,01	3,41	3,68	0,43	0,48	0,52
6. ЩПС+3% цемента+ANT	3,89	4,95	5,30	0,79	0,85	1,12	3,91	4,9	5,38	0,77	0,87	1,18
7. ЩПС+3% цемента+nanoSTAB	4,26	4,52	5,33	0,81	0,83	0,97	4,74	4,98	5,28	0,86	0,87	0,95
8. ЩПС+3% цемента+Nicoflok	3,42	4,21	4,51	0,53	0,68	0,87	3,48	3,91	4,75	0,52	0,61	0,84

На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что, изменяя количество добавки даже в небольших пределах, можно получить ЩПЦС с различными характеристиками. Прочностные показатели прямо пропорциональны количеству вводимой добавки. В то же время чрезмерное увеличение ее содержания может привести к снижению показателей прочности ЩПЦС на сжатие и растяжение при изгибе и даже к их разрушению (при отсутствии ограничений деформации). Приведенные в таблице 2 данные показывают, что образцы из щебеночно-песчаных смесей, укрепленных 4% цемента в 3-х суточном возрасте, согласно ГОСТ 23558-94 соответствуют марке по прочности М20 ($R_{сж} \geq 2,0$ МПа; $R_{изг} \geq 0,4$ МПа), в 5-ти и 7-ми суточном возрасте соответствуют марке по прочности М40 ($R_{сж} \geq 4,0$ МПа; $R_{изг} \geq 0,8$ МПа). При введении стабилизатора «ANT», в составе укрепленного материала возрастает предел прочности на сжатие до 23%. Также возрастает предел прочности на растяжение при изгибе до 42%, что свидетельствует об увеличении деформативности полученного материала, а, следовательно, уменьшению усадочных трещин. Наибольший прирост прочности при сжатии наблюдается у ЩПЦС со стабилизатором «nanoSTAB» (до 37 %). С введением данного стабилизатора прочность укрепленного материала повышается с М40 до М75 по ГОСТ 23558-94. Повышение прочности на сжатие при модификации стабилизатором «nanoSTAB», возможно, объясняется образующимся адсорбционным слоем на поверхности зерен цемента, проницаемым для воды, что положительно влияет на рост прочности укрепленных грунтов [9]. Введение данного стабилизатора также способствует приросту прочности на растяжение при изгибе до 46 %. Немного меньше были получены прочностные показатели для ЩПЦС со стабилизатором «Nicoфлок», по сравнению со стабилизатором «ANT». Аналогичные результаты увеличения прочностных показателей были получены и для ЩПС, укрепленных 3% цемента (с содержанием добавок). По результатам испытаний были построены графики изменения предела прочности на сжатие и предела прочности на растяжение при изгибе образцов из ЩПЦС в зависимости от динамики набора прочности (рис. 1, 2).

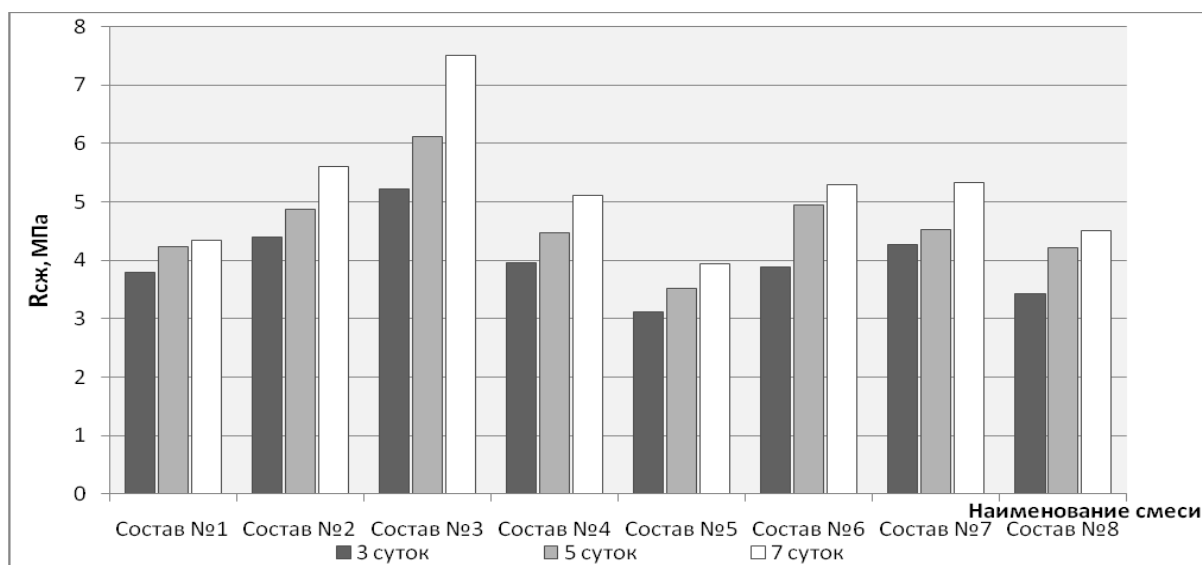


Рис. 1. Изменение предела прочности на сжатие, $R_{сж}$, образцов из ЩПЦС в зависимости от динамики набора прочности

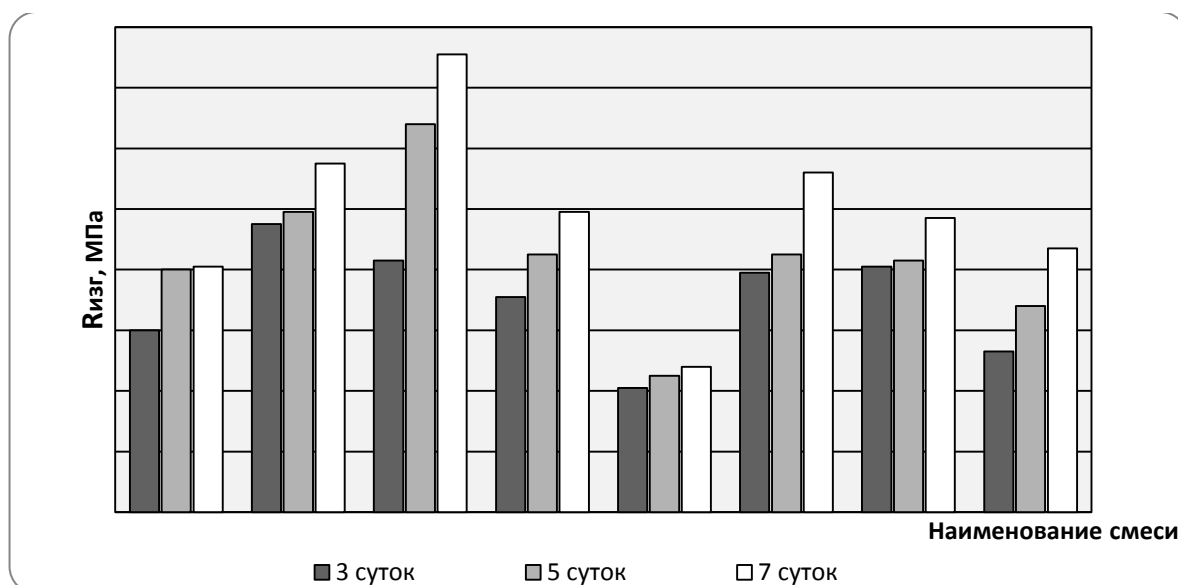


Рис. 2. Изменения предела прочности на растяжение при изгибе, $R_{изг}$, образцов из ЩПЦС в зависимости от динамики набора прочности

Таким образом, проведенные исследования дают основание полагать, что главная причина повышения прочности образцов из щебеночно-песчаных смесей с добавками «ANT», «nanoSTAB» и «Nisoflok» обусловлена тем, что в соответствии с механизмом действия добавок происходит быстрое образование первичного структурного каркаса из двойных солей и гидратов и гидроксидов, обрастающего затем гидросиликатами кальция. Наличие структурного каркаса резко облегчило выкристаллизовывание на матричной фазе из двойных солей основных – силикатных составляющих цементного камня, что способствовало большему повышению прочности материала [10]. Исходя из выше изложенного, можно сделать вывод, что введение исследуемых добавок в щебеночно-песчано-цементные смеси обеспечивает:

- возможность искусственного регулирования физико-механических свойств исследуемых материалов путем изменения процентного содержания добавок, что в свою очередь создает условия, обеспечивающие получение заданной их прочности;
- возможность устройства верхних конструктивных слоев дорожной одежды уже через 3 суток после уплотнения смеси;
- снижение усадочных трещин, а, следовательно, повышение срока службы и долговечности дорожных конструкций;
- снижение расхода цемента на 20%, без уменьшения при этом марки по прочности, что позволит получить более качественную смесь с увеличенными деформативными свойствами, сократить время и затраты на строительство и увеличить срок службы дорожной конструкции.

Литература:

1. Матуа В.П., Панасюк Л.Н. Прогнозирование и учет накопления остаточных деформаций в дорожных конструкциях. Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2001.
2. Некрасов В.В. Изменение объема системы при твердении гидравлических вяжущих // Известия АН СССР. 1945. №6.
3. Берг О.Я. Высокопрочный бетон. М.: Транспорт, 1971. 189 с.
4. ТУ Смеси полимерцементогрунтовые с использованием стабилизатора «Nisoflok», для дорожного строительства. СПб., 2011. С. 1-22.
5. ТУ Теплая регенерация асфальтобетонов с использованием препарата «стабилизатор грунтов и органоминеральных смесей «ANT», для дорожного строительства. Ставрополь, 2011. С. 1-20.
6. ТС Технология создания полимермодифицированных стабилизированных цементом несущих слоев. Дармштадт, 2008. С. 1-19.
7. Фурсов С.Г. Строительство конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных вяжущими материалами // Автомобильные дороги и мосты. 2007. Вып. 3. С. 17-21.
8. Добролюбов Г., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. М., 1983. С. 23.
9. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: АСВ, 2002. С. 500.

10. Ramachandran V.S. CONCRETE ADMIXTURES HANDBOOK. Properties, Science, and Technology: пер. с англ. М.: Стройиздат, 1988.

References:

1. Matua V.P., Panasyuk L.N. Prediction and accounting of accumulation of residual strains in the road constructions. Rostov-on/D.: Rostov State Construction University, 2001.

2. Nekrasov V.V. The volume change in hydraulic binders hardening // Proceedings of the USSR RAS. 1945. №6.

3. Berg O.Y. High-strength concrete. M: Transport, 1971. 189 p.

4. TC Polymercementsoil mixes with stabilizer «Nicoflok» for road construction. St. Petersburg, 2011. P. 1-22.

5. TC Warm regeneration of asphaltconcrete using the preparation "stabilizer of soils and organic mixtures« ANT» for road construction. Stavropol, 2011. P. 1-20.

6. TC Technology of creating polymermodified bearing layers stabilized with cement. Darmstadt, 2008. P. 1-19.

7. Fursov S.G. Construction of the structural layers of the road soils stabilized with binders // Roads and Bridges. 2007. Iss. 3. P. 17-21.

8. Dobrolybov G., Ratinov V.B., Rosenberg T.I. Prediction of the durability of concrete with additives. M., 1983. 23 p.

9. Bazhenov Y. M. The technology of concrete. M.:ACB, 2002. P. 500.

10. Ramachandran V. S. CONCRETE ADMIXTURES HANDBOOK. Properties, Science and Technology : translated from English. M.: Stroyizdat, 1988.