

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](mailto: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](mailto: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 SiO<sub>2</sub> [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

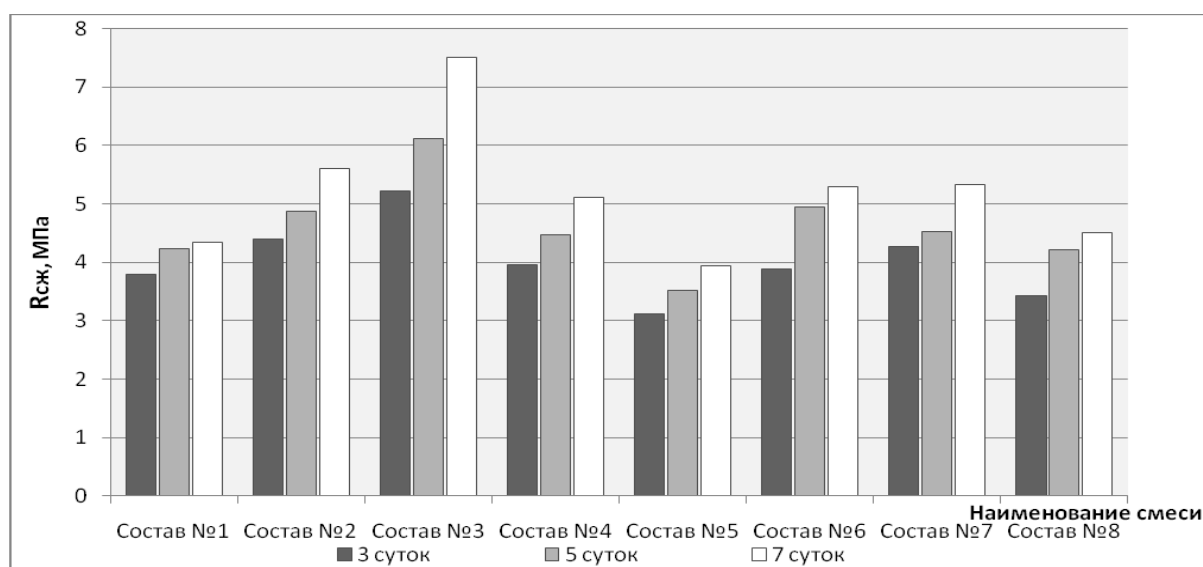
Цилиндрические образцы из исследуемых смесей изготавливались в формах, с диаметром и высотой 101 мм, методом прессования под нагрузкой 20МПа в течение 3 минут. После чего образцы извлекались и хранились в условиях естественного термо-влажностного режима, необходимое до испытаний время. Перед испытанием 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.

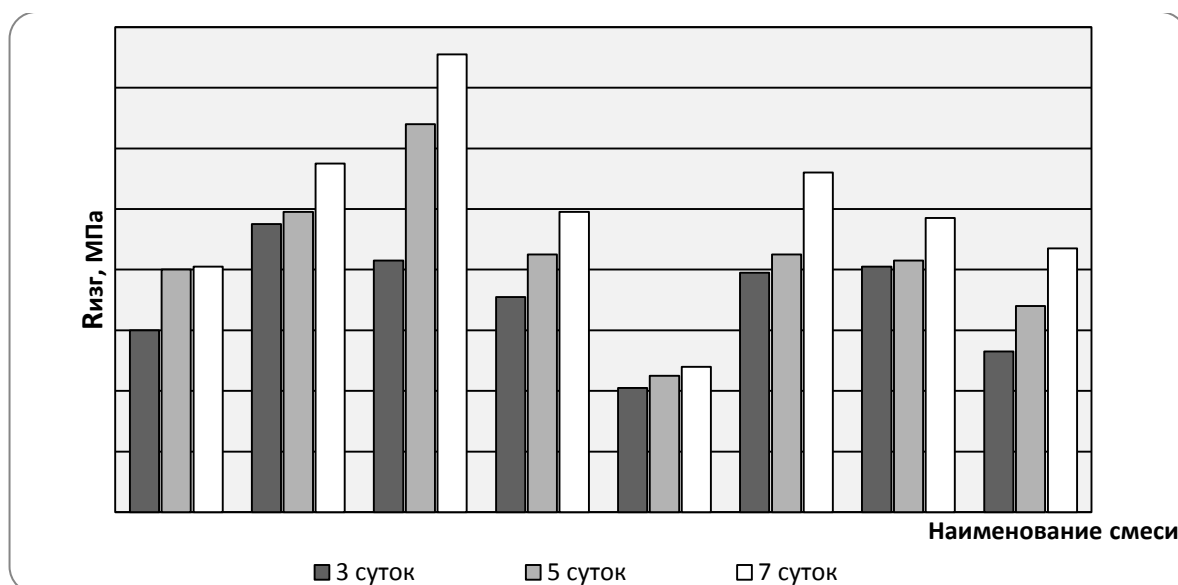
Таблица 2 - Результаты испытаний образцов из ЩПС с добавками в возрасте 3, 5, 7 суток

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.