

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРА MADOR НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЧНОСТИ И ВОДОСТОЙКОСТИ УКРЕПЛЕННЫХ ЦЕМЕНТОМ ДИСКРЕТНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Ф. В. Матвиенко¹, А. С. Строкин², Е. Б. Тюков³, В. С. Шапаускас⁴

Воронежский государственный технический университет^{1, 2, 3, 4}
Россия, г. Воронеж

¹ Канд. техн. наук, доц. кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог,
e-mail: fmatvienko@yandex.ru

² Канд. техн. наук, доц. кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог,
e-mail: alextech23@gmail.com

³ Канд. техн. наук, доц. кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог,
e-mail: Bars4@inbox.ru

⁴ Соискатель, e-mail: shapauskas@yandex.ru

Постановка задачи. На территории РФ используется большое количество модификаторов цемента, применяемых для укрепления и стабилизации грунтов при строительстве и ремонте автодорог. При этом определение области применения модифицирующих добавок и их эффективности требует проведения большого количества лабораторных исследований как по нормируемым ГОСТ показателям, так и по альтернативным методикам. Данное обстоятельство привело к необходимости проведения исследования одной из добавок к цементу, применяемой для укрепления грунтов в дорожном строительстве.

Результаты. Приведен обзор результатов исследований эффективности применения модификатора MADOR для несвязных минеральных материалов, укрепленных цементом, для сооружения конструктивных слоев дорожной одежды. Представлены результаты исследований прочностных характеристик, водостойкости и водопоглощения материалов, укрепленных цементом совместно с модификатором MADOR.

Выводы. Установлен значительный положительный эффект от применения модификатора MADOR для укрепления исследуемых материалов и грунтов в комплексе с цементом. Предложено применять исследуемые материалы, укрепленные модификатором MADOR совместно с цементом, в конструктивных слоях дорожной одежды автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильные дороги, укрепление грунтов, цемент, модификатор MADOR, прочность на сжатие, прочность на растяжение, водостойкость, водопоглощение.

Введение. Технология строительства и ремонта автомобильных дорог с применением технологии холодного ресайклинга и укрепления грунтов с помощью неорганических вяжущих нашла широкое применение в Российской Федерации и за рубежом. С начала прошлого века началось широкомасштабное изучение возможности применения неорганических вяжущих для стабилизации и укрепления грунтов и отходов промышленности, применяемых в конструктивных слоях дорожных одежд с нормируемыми физико-механическими показателями. По результатам проведенных исследований в Советском Союзе был разработан ряд нормативных документов по укреплению грунтов для дорожного строительства, в том числе и определяющих область применения химических добавок. Одним из недостатков отечественной нормативной базы, касающейся подбора составов материалов, укрепленных неорганическими вяжущими, в отличие от зарубежной является ограниченное количество норматив-

ных показателей, необходимых для прогнозирования долговечности и надежности устраиваемых дорожных конструктивов. В данной работе помимо обязательных нормативных характеристик авторами проведены более широкие исследования физико-механических характеристик как для однокомпонентных, так и многокомпонентных минеральных систем, укрепленных цементом.

В Российской Федерации для сооружения оснований дорожной одежды в основном применяют щебень и щебеночно-песчаные смеси [8, 15], которые являются дорогостоящими дорожно-строительными материалами. В работах [5, 16] указано, что при выполнении дорожно-строительных работ существует дефицит качественных материалов, пригодных для устройства конструктивных слоев дорожной одежды. Одним из перспективных способов решения этой проблемы является укрепление местных и техногенных грунтов, в том числе асфальтогранулята, различными минеральными вяжущими веществами. Эффективность указанного способа дорожных работ доказана в работах [1—4, 6, 7, 9—12].

Результаты различных исследований [14—22] свидетельствуют о возможности применения местных грунтов, укрепленных цементом в комплексе с различными добавками, для устройства конструктивных слоев дорожной одежды. В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния модификатора MADOR на прочностные характеристики укрепленных цементом грунтов. Результаты проведенных исследований влияния модификатора MADOR показали возможность его использования для регулирования технологических операций по укреплению грунтов цементом, а также для повышения надежности и долговечности устраиваемых конструктивов дорожных одежд.

1. Лабораторные исследования влияния модификатора MADOR на скорость набора прочности. В ходе выполнения дорожно-строительных работ по укреплению грунтов или устройству конструктивных слоев дорожных одежд методом холодного ресайклинга для повышения темпов строительства возникает необходимость в ускорении сроков набора прочности укрепленного цементом дорожного конструктива. Для определения влияния модификатора MADOR на скорость набора прочности укрепляемого цементом минерального материала проведены испытания двумя способами.

Способ № 1. Испытания проводились на цементном растворе по показателям прочности при изгибе и сжатии на стандартных образцах-балочках 4×4×16 см, твердевших в нормальных условиях в возрасте 2, 7 и 28 суток по ГОСТ 310.4 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии». Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1

Таблица 1

Количество модификатора	Прочность при сжатии/изгибе на сутки <i>R_{сж}/R_{изг}</i> , МПа		
	2 сутки	7 сутки	28 сутки
Контрольный состав (0 % модификатора MADOR от массы цемента)	36,2/6,7	45,4/8,3	62,7/7,7
Модификатор MADOR (3 % от массы цемента)	45,5/7,2	48,8/8,7	64,4/7,9

Способ № 2. Испытания проводились на песке из отсевов дробления АО «ПавловскНефуд» по показателям прочности при сжатии на образцах-цилиндрах диаметром 5 см, твердевших в нормальных условиях 2, 7 и 28 суток. Образцы для проведения испытаний подготовлены и испытаны по ГОСТ 23558 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства». Испытания образцов на 2 и 7 сутки проводились в сухом состоянии, на 28 сутки образцы испытывались в водонасыщенном состоянии после 2 суток в воде в соответствии с нормативными требованиями. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Количество модификатора	Прочность при сжатии на сутки <i>R_{сж}</i> , МПа		
	2 сутки	7 сутки	28 сутки
Контрольный состав (0 % модификатора MADOR от массы цемента)	5,57	6,21	7,01
Модификатор MADOR (3 % от массы цемента)	6,40	7,48	7,09

Проведенные исследования двумя различными способами показали, что внесение модификатора MADOR в объеме 3 % от массы цемента в укрепляемый цементным материалом позволяет достичь показателя прочности при сжатии на образцах, твердевших в нормальных условиях, на 2 сутки равными показателю по прочности на 7 сутки на образцах без модификатора. Ввиду того, что нормативные требования СП 78.13330.2012 «Автомобильные дороги» регламентируют, что движение построечного транспорта по слою укрепленного основания или покрытия для дальнейшего выполнения дорожно-строительных работ разрешается через 5—7 суток после его устройства, в зависимости от марочной прочности укрепляемого цементным материалом, вышеуказанное качество модификатора возможно применять для ускорения темпов строительства при условии согласования технологии производства работ с заказчиком.

2. Лабораторные исследования влияния модификатора MADOR на физико-механические показатели. Для определения влияния модификатора MADOR на физико-механические показатели различных минеральных систем, укрепленных цементом, проведены испытания по прочности в различные сроки твердения от 7 до 85 суток, водопоглощению, водостойкости, плотности и набуханию. Для проведения вышеуказанных исследований по влиянию модификатора MADOR на укрепленный цементным грунты были взяты следующие широко применяемые в дорожном строительстве Воронежской области материалы: грунт песчаный по ГОСТ 25100; песок из отсевов дробления (АО «ПавловскНеурд»); смесь минеральных материалов из грунта песчаного по ГОСТ 25100 и песка из отсевов дробления щебня Обуховского карьера; смесь из асфальтобетонного гранулята с остаточным вяжущим и песка из отсевов дробления (АО «ПавловскНеурд»). Лабораторные исследования укрепленных цементным материалов выполнены как в соответствии с действующими на момент проведения испытаний российскими нормативными документами, так и дополнительными физико-механическими характеристиками с учетом зарубежного опыта.

Состав № 1. Грунт песчаный по ГОСТ 25100, цемент 42,5Н — 10 % от минеральной части, вода — 14,3 % для достижения оптимальной влажности, модификатор MADOR — 3 % от массы цемента.

Образцы для проведения испытаний подготовлены и испытаны по ПНСТ-322 «Грунты стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими. Технические условия». Ввиду отсутствия методик определения объемной плотности и параметров водонасыщения и водопоглощения укрепляемого цементным материалом в указанном нормативе показатели определялись по аналогичной методике испытаний в соответствии с ГОСТ 12801 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний». Показатель водопоглощения определялся после водонасыщения образцов в вакууме в течение 2 суток в воде. Показатель водостойкости определялся как отношение прочности при сжатии образцов, насыщенных водой, в течение 2 суток к прочности сухих образцов. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 3.

Проведенные исследования по влиянию модификатора MADOR на песчаный грунт, укрепленный цементным, показали, что образцы с модификатором MADOR имеют более высокие физико-механические показатели. Водопоглощение после полного водонасыщения образцов с модификатором MADOR отличается в 6,9 раза в меньшую сторону по сравнению с

образцами, укрепленными одним цементом без модификатора. Образцы грунта песчаного, укрепленного цементом совместно с модификатором, имеют более высокие прочностные характеристики при сжатии, растяжении при раскалывании, водостойкости и объемной плотности, чем образцы, укрепленные одним цементом без модификатора (табл. 3).

Таблица 3

Наименование показателя	Значение показателя		Изменение показателя образца № 2 относительно образца № 1
	образца № 1 (MADOR — 0 %)	образца № 2 (MADOR — 3 %)	
Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	3,11	3,21	+3,22 %
Прочность на растяжение при раскалывании в возрасте 28 суток, МПа	0,33	0,42	+27,27 %
Водостойкость	0,95	1,00	+5,26 %
Объемная плотность, г/см ³	1,95	1,98	+1,54 %
Водопоглощение в течение 2 суток после полного водонасыщения, %	4,18	0,61	Уменьшение в 6,9 раза

Состав № 2. Песок из отсевов дробления (АО «ПавловскНеур»), цемент М400 — 10 % от минеральной части, вода — 5 % для достижения оптимальной влажности, модификатор MADOR — 3 % от массы цемента.

Образцы для проведения испытаний подготовлены и испытаны по ГОСТ 23558. Показатели прочности при сжатии на 7 сутки определены для образцов в сухом состоянии, показатели прочности при сжатии и растяжении при раскалывании определены после 28 суток нормального твердения в водонасыщенном состоянии. Показатель водопоглощения определялся после водонасыщения образцов в вакууме в течение 2 суток в воде. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 4.

Проведенные исследования по влиянию модификатора MADOR на песок из отсевов дробления (АО «ПавловскНеур»), укрепленный цементом, показали, что образцы с модификатором MADOR имеют более высокие физико-механические показатели. Водопоглощение после полного водонасыщения образцов с модификатором MADOR отличается в 2,9 раза в меньшую сторону по сравнению с образцами, укрепленными одним цементом без модификатора. Образцы песка из отсевов дробления, укрепленного цементом совместно с модификатором, имеют более высокие прочностные характеристики при сжатии, растяжении при раскалывании как в начальные, так и конечные сроки твердения, чем образцы, укрепленные одним цементом без модификатора (табл. 4).

Таблица 4

Наименование показателя	Значение показателя		Изменение показателя образца № 2 относительно образца № 1
	образца № 1 (MADOR — 0 %)	образца № 2 (MADOR — 3 %)	
Прочность при сжатии в возрасте 7 суток сухих образцов, МПа	4,67	4,92	+5,35 %
Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	4,67	5,00	+7,06 %
Прочность на растяжение при раскалывании, МПа	1,07	1,20	+12,14 %
Водопоглощение в течение 2 суток после полного водонасыщения, %	5,92	2,04	Уменьшение в 2,9 раза

Состав № 3. Смесь минеральных материалов из грунта песчаного — 50 % по ГОСТ 25100, песка из отсевов дробления щебня Обуховского карьера — 50 %, цемента 42,5Н — 10 %

от минеральной части, воды — 11,4 % для достижения оптимальной влажности, модификатора MADOR — 3 % от массы цемента.

Образцы для проведения испытаний подготовлены и испытаны по ГОСТ 23558. Ввиду отсутствия методик определения объемной плотности и параметров водонасыщения и водопоглощения укрепляемого цементом материала в нормативе, показатели определялись по аналогичной методике испытаний ГОСТ 12801. Показатель прочности при сжатии определен после 28 суток нормального твердения в водонасыщенном состоянии. Показатель водопоглощения определялся после водонасыщения образцов в вакууме в течение 2 суток в воде. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 5.

Таблица 5

Наименование показателя	Значение показателя		Изменение показателя образца № 2 относительно образца № 1
	образца № 1 (MADOR — 0 %)	образца № 2 (MADOR — 3 %)	
Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	2,00	2,21	+10,50 %
Объемная плотность, г/см ³	2,01	2,02	+0,50 %
Водопоглощение в течение 2 суток после полного водонасыщения, %	9,06	1,10	Уменьшение в 8,2 раза

Проведенные исследования по влиянию модификатора MADOR на минеральную смесь из грунта песчаного 50 % и песка из отсевов дробления щебня Обуховского карьера 50 %, укрепленного цементом, показали, что образцы с модификатором MADOR имеют более высокие физико-механические показатели. Водопоглощение после полного водонасыщения образцов с модификатором MADOR отличается в 8,2 раза в меньшую сторону по сравнению с образцами, укрепленными одним цементом без модификатора. Образцы материала, укрепленные цементом совместно с модификатором, имеют повышенную прочность при сжатии и объемную плотность (табл. 5).

Состав № 4. Асфальтобетонный гранулят с остаточным вяжущим — 50 % (содержание остаточного вяжущего 6,4 % сверх 100 % по массе материала), песок из отсевов дробления (АО «ПавловскНеруд») — 50 %, цемент М500 — 8 % от минеральной части, вода — 4 % для достижения оптимальной влажности, модификатор MADOR — 3 % от массы цемента.

Образцы для проведения испытаний подготовлены и испытаны по ГОСТ 23558. Ввиду отсутствия требований к определению объемной плотности и набуханию укрепляемого цементом материала в нормативе, показатели определялись по аналогичной методике испытаний ГОСТ 12801. Показатель водопоглощения определялся как прирост образца по массе после его насыщения водой в течение 2 суток перед испытанием на прочность в водонасыщенном состоянии. Показатель водостойкости определялся как отношение прочности при сжатии образцов, насыщенных водой в течение 2 суток, к прочности сухих образцов. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 6.

Таблица 6

Наименование показателя	Значение показателя		Изменение показателя образца № 2 относительно образца № 1
	образца № 1 (MADOR — 0 %)	образца № 2 (MADOR — 3 %)	
Прочность при сжатии в возрасте 7 суток сухих образцов, МПа	3,83	5,00	+30,55 %
Прочность при сжатии водонасыщенных 2 суток образцов после 28 суток нормального твердения, МПа	4,83	5,00	+3,52 %
Прочность при сжатии, водонасыщенных 2 суток образцов после 60 суток нормального твердения, МПа	5,17	6,00	+16,05 %

Наименование показателя	Значение показателя		Изменение показателя образца № 2 относительно образца № 1
	образца № 1 (MADOR — 0 %)	образца № 2 (MADOR — 3 %)	
Прочность при сжатии водонасыщенных длительно (14 суток) образцов после 28 суток нормального твердения, МПа	5,17	5,50	+6,38 %
Объемная плотность после 28 суток нормального твердения, г/см ³	2,18	2,19	+0,46 %
Водопоглощение 2 суток в воде после 28 суток нормального твердения %	5,24	5,02	-4,20 %
Водопоглощение длительное (14 суток в воде) после 28 суток нормального твердения, %	5,60	5,31	-5,18 %
Набухание после 28 суток нормального твердения	0	0	0 %
Набухание после 28 суток нормального твердения и длительного (14 суток) водонасыщения	0,13	0	-100 %
Набухание после 60 суток нормального твердения	0,19	0,10	-47,37 %
Объемная плотность после 60 суток нормального твердения, г/см ³	2,16	2,18	+0,93 %
Прочность при сжатии сухих образцов, после 60 суток нормального твердения, МПа	5,25	5,92	+12,76 %
Прочность при сжатии водонасыщенных образцов через вакуум после 60 суток нормального твердения, МПа	5,00	5,42	+8,40 %
Водопоглощение (2 суток в воде) после 60 суток нормального твердения, %	1,60	1,38	-13,75 %
Водопоглощение после полного водонасыщения в вакууме после 60 суток нормального твердения, %	5,86	5,39	-8,02 %
Коэффициент водостойкости после водонасыщения 2 суток в воде на 60 сутки нормального твердения	0,98	1,01	-2,92 %

Проведенные исследования по влиянию модификатора MADOR на смесь из асфальтобетонного гранулята и песка из отсевов дробления (АО «ПавловскНеруд»), укрепленную цементом, показали, что образцы с модификатором MADOR имеют более высокие физико-механические показатели. Образцы с модификатором MADOR отличаются снижением набухания до абсолютного нуля в зависимости от сроков набора прочности, снижением водонасыщения и водопоглощения и повышением до абсолютного максимума коэффициента водостойкости по сравнению с образцами, укрепленными одним цементом без модификатора. Также образцы укрепленного материала с модификатором MADOR имеют более высокие прочностные характеристики по сравнению с образцами, не модифицированными препаратом MADOR (табл. 6).

Также в ходе проведенных исследований по влиянию модификатора MADOR на снижение показателей водопоглощения и водонасыщения на образцах из смеси асфальтогранулята и песка из отсевов дробления (АО «ПавловскНеруд»), укрепленных цементом, визуально был установлен гидрофобный эффект модификатора после 28 суток нормального твердения образцов (рис.).

Гидрофобный эффект выразался в том, что при попадании капли воды 1—3 мл на образец материала, укрепленный цементом, вода моментально впитывалась, а при попадании

воды на образец, укрепленный цементом совместно с модификатором MADOR, вода не впитывалась в течение не менее 1 часа. Данный гидрофобный визуальный эффект подтверждает высокие показатели снижения водонасыщения и водопоглощения, а также повышения водостойкости на лабораторных образцах.



Рис. Вид образцов после попадания воды.
Слева образец без модификатора,
справа образец с модификатором MADOR

Выводы. Полученные результаты экспериментальных исследований в части обоснования возможности применения модификатора MADOR при выполнении работ по холодному ресайклингу дорожных одежд и укреплению грунтов цементом показали его эффективность:

1. Устройство конструктивных слоев дорожных одежд из укрепленных цементом материалов с модификатором MADOR является одним из способов решения вопроса замены дорогостоящих каменных материалов и щебеночно-гравийно-песчаных смесей на местные грунты и материалы повторного использования.

2. Применение модификатора MADOR как препарата, улучшающего качество обрабатываемого цементом материала, позволяет получить дорожный конструктив из укрепленного цементом материала со следующими повышенными характеристиками:

– модификатор MADOR позволяет достичь показателя прочности при сжатии на образцах, твердевших в нормальных условиях, на 2 сутки равными показателю по прочности на 7 сутки на образцах без модификатора. Данный эффект модификатора MADOR по снижению сроков набора прочности с семи до двух суток позволяет ускорить темпы выполнения дорожных работ;

– модификатор MADOR позволяет значительно снизить водонасыщение и водопоглощение грунтов, обрабатываемых цементом, и увеличить показатель водостойкости по сравнению с материалами, укрепленными одним цементом без модификатора. Гидрофобизация и водостойкость конструктивных слоев дорожных одежд прямо влияют на долговечность и срок службы автодороги;

– в смесях с асфальтобетонным гранулятом и песком из отсевов дробления показана эффективность модификатора по снижению характеристик набухания материала и тем самым доказана эффективность модификатора при совместном применении цемента и органического вяжущего в случае применения модификатора MADOR при холодном ресайклинге асфальтобетонных покрытий;

– укрепление минеральных материалов цементом совместно с модификатором MADOR позволяет получить дорожный конструктив с повышенной объемной плотностью, что, в свою очередь, положительно влияет на повышение несущей способности по модулю упругости;

– укрепленные цементом совместно с модификатором MADOR дискретные материалы как в сухом, так и в водонасыщенном состоянии имеют более высокие прочностные ха-

рактеристики при сжатии, а также растяжении при раскалывании — свыше 25 %. Повышение показателя растяжения при раскалывании прямо влияет на снижение трещинообразования в обрабатываемых цементом материалах. Снижение склонности к трещинообразованию является одной из первоочередных задач для укрепляемых цементом материалов, особенно для слоев с высокой марочной прочностью и обладающих высокой несущей способностью.

3. Проведенные исследования позволили установить значительный положительный эффект от применения модификатора MADOR на укрепленный цементом материал. По проведенным исследованиям предложено применить модификатор MADOR в комплексе с цементом для повышения прочностных показателей и водостойкости конструктивных слоев дорожных одежд автомобильных дорог.

Библиографический список

1. **Безрук, В. М.** Укрепленные грунты (свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве) / В. М. Безрук, И. Л. Гурячков, Т. М. Луканина. — М.: Транспорт, 1982. — 231 с.
2. **Васильев, Ю. М.** Требования к деформативной способности укрепленных грунтов / Ю. М. Васильев // Применение укрепленных грунтов при строительстве дорожных одежд с использованием отходов промышленности в качестве вяжущих и добавок химических веществ: Труды Союздорнии. — 1981. — С. 145—151.
3. **Величко, Е. Г.** Некоторые аспекты физико-химии и механики композитов многокомпонентных цементных систем / Е. Г. Величко, Ж. С. Белякова // Строительные материалы. — 1997. — № 2. — С. 21—25.
4. **Вернигорова, В. М.** Современные методы исследования свойств строительных материалов / В. М. Вернигорова. — М.: АСВ, 2003. — 239 с.
5. **Горельшев, Н. В.** Технология и организация строительства автомобильных дорог / Н. В. Горельшев, С. М. Полосин-Никитин, М. С. Коганзон. — М.: Транспорт, 1992. — 551 с.
6. **Кочеткова, Р. Г.** Улучшение свойств глинистых грунтов стабилизаторами / Р. Г. Кочеткова // Автомобильные дороги. — 2006. — № 3. — С. 25—28.
7. **Ланко, А. В.** Гидрофобизированные лессовые цементогрунты в дорожном строительстве / А. В. Ланко // Строительные материалы. — 2008. — № 4. — С. 27—30.
8. **Матвиенко, Ф. В.** Прогнозирование величины необратимой деформации дорожной конструкции от воздействия транспортного потока / Ф. В. Матвиенко, А. Н. Канищев, В. Н. Мелькумов, В. В. Волков // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. — 2010. — № 3 (19). — С. 81—92.
9. **Никеров, Н. С.** Дорожные одежды автомобильных дорог общего пользования. Ч. 2. Конструирование и расчет / Н. С. Никеров. — СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2001. — 84 с.
10. **Петквявичус, К.** Возможности использования местных нерудных материалов при строительстве и ремонте автомобильных и железных дорог / К. Петквявичус, И. Подагелис, А. Лауринавичус // Строительные материалы. — 2006. — № 3. — С. 32—35.
11. **Пичугин, А. П.** Деформационные процессы в укрепленных грунтах / А. П. Пичугин, В. А. Гришина, И. К. Языков // Экология и новые технологии в строительном материаловедении: междунар. сб. науч. тр. — Новосибирск, 2010. — С. 74—75.
12. **Пичугин, А. П.** Физико-химические процессы в укрепленных грунтах / А. П. Пичугин, В. А. Гришина, И. К. Языков // Строительные материалы. — 2009. — № 12. — С. 41—43.
13. **Подольский, Вл. П.** Исследование влияния модификатора «ДОРЦЕМ ДС-1» на свойства цемента и физико-механические характеристики цементогрунта / Вл. П. Подольский, Ф. В. Матвиенко, А. С. Строкин, А. Е. Борисов // Научный журнал строительства и архитектуры. — 2017. — № 1 (45). — С. 84—92.
14. **Подольский, Вл. П.** О возможности расширения ресурсной базы дорожного строительства за счет стабилизации и укрепления грунтов / Вл. П. Подольский, В. Л. Нгуен, Д. Ш. Нгуен // Научный Вестник Воронежского ГАСУ. — 2014. — № 1. — С. 102—111.
15. **Подольский, Вл. П.** Оптимизация объемов добычи каменных материалов и транспортной схемы их доставки потребителю / Вл. П. Подольский, В. В. Гасилов // Строительные материалы. — 1992. — № 11. — С. 41—44.
16. **Подольский, Вл. П.** Строительство автомобильных дорог. Земляное полотно / Вл. П. Подольский [и др.]. — М.: ИЦ «Академия», 2013. — 304 с.
17. **Фурсов, С. Г.** Эффект модификатора «ДорЦем ДС-1» / С. Г. Фурсов [и др.] // Автомобильные дороги. — 2011. — № 5. — С. 136—139.
18. **Brendel, G.** Tackling Indias coal ash problem / G. Brendel // Mining Eng. — 1999. — Vol. 51, № 10. — P. 44—45.

19. **Cheriaf, M.** Pozzolanic properties of pulverized coal combustion asch / M. Cheriaf, J. C. Rocha // *Cem. and Concr.* — 1999. — Vol. 29, № 9. — P. 1387—1391.
20. **Horiuchi, S.** Effective use of fly ash slurry as file material / S. Horiuchi, M. Kawaguchi, K. Yasuhara // *J. Hazardous Mater.* — 2000. — Vol. 76, № 2—3. — P. 301—337.
21. **Jingbang, Sh.** Fly ash utilisation in China / Sh. Jingbang // *Proc. 20th Int. Miner Process. Congr., Aachen, 21—26 Sept., 1997.* — Clausthal — Zellerfeld, 1997. — Vol. 5. — P. 109—111.
22. **Xu, A.** Potentials of high-volume fly ash utilization in concrete and cementations products / A. Xu, Sh. L. Sarkar // *Proc. Amer. Power Conf.* — Chicago, 1996. — Vol. 58, Pt. 1. — P. 651—656.

References

1. **Bezruk, V. M.** Ukreplennye grunty (svoistva i primeneniye v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve) / V. M. Bezruk, I. L. Guryachkov, T. M. Lukanina. — M.: Transport, 1982. — 231 s.
2. **Vasil'ev, Yu. M.** Trebovaniya k deformativnoi sposobnosti ukreplennykh gruntov / Yu. M. Vasil'ev // *Primeneniye ukreplennykh gruntov pri stroitel'stve dorozhnykh odezhd s ispol'zovaniem otkhodov promyshlennosti v kachestve vyazhushchikh i dobavok khimicheskikh veshchestv: Trudy Soyuzdornii.* — 1981. — S. 145—151.
3. **Velichko, E. G.** Nekotorye aspekty fiziko-khimii i mekhaniki kompozitov mnogokomponentnykh tsementnykh sistem / E. G. Velichko, Zh. S. Belyakova // *Stroitel'nye materialy.* — 1997. — № 2. — S. 21—25.
4. **Vernigorova, V. M.** Sovremennyye metody issledovaniya svoystv stroitel'nykh materialov / V. M. Vernigorova. — M.: ASV, 2003. — 239 s.
5. **Gorelyshev, N. V.** Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva avtomobil'nykh dorog / N. V. Gorelyshev, S. M. Polosin-Nikitin, M. S. Koganzon. — M.: Transport, 1992. — 551 s.
6. **Kochetkova, R. G.** Uluchsheniye svoystv glinistykh gruntov stabilizatorami / R. G. Kochetkova // *Avtomobil'nye dorogi.* — 2006. — № 3. — S. 25—28.
7. **Lanko, A. V.** Gidrofobizirovannyye lessovyye tsementogrunty v dorozhnom stroitel'stve / A. V. Lanko // *Stroitel'nye materialy.* — 2008. — № 4. — S. 27—30.
8. **Matvienko, F. V.** Prognozirovaniye velichiny neobratimoi deformatsii dorozhnoi konstruksii ot vozdeystviya transportnogo potoka / F. V. Matvienko, A. N. Kanishchev, V. N. Mel'kumov, V. V. Volkov // *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arkhitektura.* — 2010. — № 3 (19). — S. 81—92.
9. **Nikerov, N. S.** Dorozhnyye odezhdyy avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniya. Ch. 2. Konstruirovaniye i raschet / N. S. Nikerov. — SPb.: Peterburgskii gos. un-t putei soobshcheniya, 2001. — 84 s.
10. **Petkyavichus, K.** Vozmozhnosti ispol'zovaniya mestnykh nerudnykh materialov pri stroitel'stve i remonte avtomobil'nykh i zheleznykh dorog / K. Petkyavichus, I. Podagelis, A. Laurinavichus // *Stroitel'nye materialy.* — 2006. — № 3. — S. 32—35.
11. **Pichugin, A. P.** Deformatsionnyye protsessy v ukreplennykh gruntakh / A. P. Pichugin, V. A. Grishina, I. K. Yazikov // *Ekologiya i novyye tekhnologii v stroitel'nom materialovedenii: mezhdunar. sb. nauch. tr.* — Novosibirsk, 2010. — S. 74—75.
12. **Pichugin, A. P.** Fiziko-khimicheskie protsessy v ukreplennykh gruntakh / A. P. Pichugin, V. A. Grishina, I. K. Yazikov // *Stroitel'nye materialy.* — 2009. — № 12. — S. 41—43.
13. **Podol'skii, V. P.** Issledovaniye vliyaniya modifikatora «DORTSEM DS-1» na svoistva tsementa i fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki tsementogrunta / V. P. Podol'skii, F. V. Matvienko, A. S. Strokin, A. E. Borisov // *Nauchnyi zhurnal stroitel'stva i arkhitektury.* — 2017. — № 1 (45). — S. 84—92.
14. **Podol'skii, V. P.** O vozmozhnosti rasshireniya resursnoi bazy dorozhnogo stroitel'stva za schet stabilizatsii i ukrepleniya gruntov / V. P. Podol'skii, V. L. Nguen, D. Sh. Nguen // *Nauchnyi Vestnik Voronezhskogo GASU.* — 2014. — № 1. — S. 102—111.
15. **Podol'skii, V. P.** Optimizatsiya ob'emov dobychi kamennykh materialov i transportnoi skhemy ikh dostavki potrebitelyu / V. P. Podol'skii, V. V. Gasilov // *Stroitel'nye materialy.* — 1992. — № 11. — S. 41—44.
16. **Podol'skii, V. P.** Stroitel'stvo avtomobil'nykh dorog. Zemlyanoe polотно / V. P. Podol'skii [i dr.]. — M.: ITs «Akademiya», 2013. — 304 s.
17. **Fursov, S. G.** Effekt modifikatora «DorTsem DS-1» / S. G. Fursov [i dr.] // *Avtomobil'nye dorogi.* — 2011. — № 5. — S. 136—139.
18. **Brendel, G.** Tackling Indias coal ash problem / G. Brendel // *Mining Eng.* — 1999. — Vol. 51, № 10. — P. 44—45.
19. **Cheriaf, M.** Pozzolanic properties of pulverized coal combustion asch / M. Cheriaf, J. C. Rocha // *Cem. and Concr.* — 1999. — Vol. 29, № 9. — P. 1387—1391.
20. **Horiuchi, S.** Effective use of fly ash slurry as file material / S. Horiuchi, M. Kawaguchi, K. Yasuhara // *J. Hazardous Mater.* — 2000. — Vol. 76, № 2—3. — P. 301—337.
21. **Jingbang, Sh.** Fly ash utilisation in China / Sh. Jingbang // *Proc. 20th Int. Miner Process. Congr., Aachen, 21—26 Sept., 1997.* — Clausthal — Zellerfeld, 1997. — Vol. 5. — P. 109—111.

22. **Xu, A.** Potentials of high-volume fly ash utilization in concrete and cementations products / A. Xu, Sh. L. Sarkar // Proc. Amer. Power Conf. — Chicago, 1996. — Vol. 58, Pt. 1. — P. 651—656.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE «MADOR» MODIFIER ON THE STRENGTH AND WATER RESISTANCE OF CEMENT-REINFORCED DISCRETE MINERAL MATERIALS FOR ROAD CONSTRUCTION

F. V. Matvienko ¹, A. S. Strokin ², E. B. Tyukov ³, V. S. Shapauskas ⁴

Voronezh State Technical University ^{1,2,3,4}
Russia, Voronezh

¹ *PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Construction and Operation of Highways,
e-mail: fmatvienko@yandex.ru*

² *PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Construction and Operation of Highways,
e-mail: alexmech23@gmail.com*

³ *PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Construction and Operation of Highways,
e-mail: Bars4@inbox.ru*

⁴ *PhD in Engineering Candidate, e-mail: shapauskas@yandex.ru*

Statement of the problem. In the territory of the Russian Federation, a large number of cement modifiers are used to strengthen and stabilize soils during the construction and repair of highways. At the same time, the determination of the scope of modifying additives and their effectiveness requires a large number of laboratory studies, both according to GOST-normalized indicators and alternative methods, taking into account foreign experience. This circumstance led to the need to conduct a study of one of the additives to cement used to strengthen soils in road construction.

Results. The review of the results of studies of the effectiveness of the use of the modifier «MADOR» for non-cohesive mineral materials reinforced with cement for the construction of structural layers of pavement is given. The results of studies of strength characteristics, water resistance and water absorption of materials reinforced with cement together with the modifier «MADOR» are presented.

Conclusions. A significant positive effect has been established from the use of the «MADOR» modifier to strengthen the studied materials and soils in combination with cement. It is proposed to use the studied materials reinforced with the «MADOR» modifier together with cement in the structural layers of the road surface of highways.

Keywords: highways, soil reinforcement, cement, modifier «MADOR», compressive strength, tensile strength, water resistance, water absorption.