

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРА MADOR НА ПОКАЗАТЕЛИ МОРОЗОСТОЙКОСТИ И ВОДОСТОЙКОСТИ УКРЕПЛЕННЫХ ЦЕМЕНТОМ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Ф. В. Матвиенко¹, Н. И. Паневин², А. Н. Канищев³, 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: panevinn@mail.ru

³ Д-р техн. наук, проф. кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог, e-mail: velt@mail.ru

⁴ Соискатель ученой степени канд. техн. наук, e-mail: shapauskas@yandex.ru

Постановка задачи. В Российской Федерации и за рубежом производителями предлагается большое количество разнообразных добавок и стабилизаторов, применяемых при выполнении работ по укреплению и обработке грунтов, щебеночно-гравийно-песчаных и органоминеральных смесей цементами. Однако общей проблемой большинства выпускаемых добавок и модификаторов является отсутствие полной информации о возможности их применения для тех или иных условий дорожного строительства. Данное обстоятельство привело к необходимости проведения исследования одной из добавок к цементу, применяемой для укрепления грунтов и каменных материалов, — модификатора *MADOR*.

Результаты. Приведен обзор результатов исследований возможности применения модификатора *MADOR* для укрепления цементом дисперсных минеральных материалов, применяемых в конструкции дорожной одежды. Полученные результаты демонстрируют улучшение прочностных характеристик, морозостойкости и водостойкости укрепленных цементом минеральных дисперсных материалов в комплексе с модификатором *MADOR*.

Выводы. Доказан положительный эффект от применения модификатора *MADOR* для укрепления исследуемых материалов в комплексе с цементом. Предложено рекомендовать данный модификатор для применения совместно с цементом в дорожном строительстве для повышения морозостойкости и прочности укрепляемых цементом конструктивных элементов дорожной одежды.

Ключевые слова: автомобильные дороги, укрепление грунтов, цемент, модификатор *MADOR*, прочность, морозостойкость.

Введение. В практике отечественного и зарубежного дорожного строительства [1, 5, 9, 10, 13—15] при укреплении грунтов и обработке щебеночно-гравийно-песчаных смесей цементами для улучшения их технологических и физико-механических свойств [2—4, 6—8, 11, 12] широкое применение находят различного рода добавки — модификаторы и стабилизаторы. Вопросу применения добавок-модификаторов и стабилизаторов при укреплении минеральных материалов цементом посвящено большое количество исследований, получен положительный опыт в области дорожного строительства [16—21]. В соответствии с нормативными требованиями ГОСТ Р 70452-2022 «Грунты стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими» и ГОСТ Р 70455-2022 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные обработанные неорганическими вяжущими» для повышения прочности, морозостойкости и

улучшения технологических свойств допускается применять стабилизаторы, поверхностно-активные, полимерно-минеральные и химические добавки, удовлетворяющие требованиям соответствующих нормативных документов. В нормативных требованиях установлено правило, что применение добавки или стабилизатора при укреплении материалов цементами должно обосновываться для конкретного типа материала и условий выполнения дорожно-строительных работ. В Российской Федерации и за рубежом производителями предлагается большое количество разнообразных добавок и стабилизаторов, применяемых при выполнении работ по укреплению и обработке грунтов, щебеночно-гравийно-песчаных и органоминеральных смесей цементами. Общей проблемой большинства выпускаемых добавок и модификаторов является отсутствие полной информации о возможности применения для тех или иных условий дорожного строительства. Данное обстоятельство привело к необходимости проведения исследования одной из добавок-стабилизатора, применяемого при укреплении грунтов, обработке щебеночно-гравийно-песчаных, органоминеральных смесей и каменных материалов цементами.

1. Определение морозостойкости цементного раствора с применением модификатора MADOR. Для проведения исследований влияния модификатора MADOR на свойства материалов, обрабатываемых цементом, по показателю морозостойкости подготавливались образцы цементного раствора марки М 100 с размером ребра 70 мм по ГОСТ 5802 «Растворы строительные. Методы испытаний» с введением модификатора MADOR в объеме 3 % по массе цемента. В ходе проведения исследований было подготовлено и испытано 3 серии образцов: 1-я серия — контрольная, проведены испытания прочности при сжатии, без испытания на морозостойкость; образцы 2-й серии подверглись 15 циклам попеременного замораживания и оттаивания; образцы 3-й серии подверглись 25 циклам попеременного замораживания и оттаивания. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Номер серии образцов с модификатором MADOR — 3 %	Прочность при сжатии, МПа
1 серия. Контрольная	12,57
2 серия. 15 циклов Мрз	13,99
3 серия. 25 циклов Мрз	13,62

По результатам проведенных исследований влияния модификатора MADOR на морозостойкость цементного раствора установлено, что образцы, укрепленные цементом совместно с модификатором MADOR, после 15 и 25 циклов замораживания и оттаивания имеют более высокие показатели прочности на сжатие, чем образцы, укрепленные одним цементом и не подвергшиеся испытанию на морозостойкость.

2. Определение прочности и морозостойкости грунта с применением модификатора MADOR. Состав исследуемых материалов: грунт песчаный по ГОСТ 25100 — 50 %, песок из отсевов дробления Лабинского карьера — 50 %, цемент 42,5Н — 10 % от минеральной части, вода — 11,3 % 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». Показатель водопоглощения определялся как прирост образца по массе после его насыщения водой в течение 2 сут перед испытанием на прочность в водонасыщенном состоянии. Показатель водостойкости определялся как отношение прочности при сжатии образцов, насыщенных водой в течение 2 сут, к прочности сухих образцов. Результаты проведенных исследований по прочности представлены в табл. 2.

Проведенные исследования по влиянию модификатора MADOR на минеральную смесь из грунта песчаного и песка из отсевов дробления, укрепленную цементом, показали, что об-

разцы с модификатором *MADOR* имеют более высокие физико-механические показатели. А именно образцы минеральной смеси, укрепленные цементом совместно с модификатором, имеют более высокие прочностные характеристики при сжатии в сухом и водонасыщенном состоянии на 7—15 %, растяжении при раскалывании на 26 %, водостойкости и прочности после 28 сут нормального твердения, чем образцы, укрепленные одним цементом без модификатора (табл. 2).

Таблица 2

Наименование показателя	Значение показателя образца № 1 (<i>MADOR</i> — 0 %)	Значение показателя образца № 2 (<i>MADOR</i> — 3 %)	Изменение показателя образца № 2 относительно образца № 1
Прочность при сжатии сухих образцов после 28 сут нормального твердения, МПа	3,13	3,37	+7,67 %
Прочность при сжатии водонасыщенных образцов после 28 сут нормального твердения, МПа	2,65	3,05	+15,09 %
Прочность на растяжение при раскалывании водонасыщенных образцов после 28 сут нормального твердения, МПа	0,26	0,33	+26,92 %
Водостойкость	0,85	0,91	+7,06 %
Прочность при сжатии водонасыщенных образцов после 85 сут нормального твердения, МПа	3,40	3,67	+7,94 %

Проведенные исследования по влиянию модификатора *MADOR* на эксплуатационные характеристики укрепленных цементом материалов показали, что образцы с модификатором *MADOR* имеют более высокие показатели по морозостойкости.

Образцы минеральной смеси, укрепленные цементом совместно с модификатором *MADOR*, выдержали 48 циклов замораживания и оттаивания по сравнению с 26 циклами замораживания и оттаивания образцов, укрепленных одним цементом без модификатора. При этом водопоглощение образцов минеральной смеси, укрепленных модификатором и цементом, отличается в 1,44 раза в меньшую сторону по сравнению с водопоглощением образцов, укрепленных одним цементом, а коэффициент морозостойкости после 25 циклов замораживания и оттаивания составляет 0,93 и 0,65 соответственно (табл. 3).

Результаты проведенных исследований по морозостойкости представлены в табл. 3

Таблица 3

Наименование показателя	Значение показателя образца № 1 (<i>MADOR</i> — 0 %)	Значение показателя образца № 2 (<i>MADOR</i> — 3 %)	Изменение показателя образца № 2 относительно образца № 1
Контрольные образцы до испытания на морозостойкость			
Прочность при сжатии на 28 сут, МПа	3,09	3,17	1,03 раза
Водопоглощение, %	3,50	1,90	1,84 раза
25 циклов при испытании на морозостойкость			
Прочность при сжатии, МПа	2,02	2,94	1,46 раза
Водопоглощение, %	4,47	3,10	1,44 раза
Коэффициент морозостойкости	0,65	0,93	1,43 раза

Окончание табл. 3

Наименование показателя	Значение показателя образца № 1 (<i>MADOR</i> — 0 %)	Значение показателя образца № 2 (<i>MADOR</i> — 3 %)	Изменение показателя образца № 2 относительно образца № 1
На 26 цикле произошло частичное разрушение образцов без модификатора <i>MADOR</i>			
Прочность при сжатии на 28 сут, после 26 циклов замораживания-оттаивания, МПа	2,00	—	—
На 48 цикле произошло частичное разрушение образцов с модификатором <i>MADOR</i>			
Прочность при сжатии на 28 сут, после 48 циклов замораживания-оттаивания, МПа	—	2,88	

На рис. 1 показан вид образцов минеральной смеси, укрепленных цементом, и образцов минеральной смеси, укрепленных совместно с модификатором *MADOR*, после проведения испытаний.



Рис. 1. Вид образцов после испытаний на прочность при сжатии: слева образцы без модификатора *MADOR* после 26-го цикла Мрз, справа образцы с модификатором *MADOR* после 48-го цикла Мрз

Проведенный анализ фотоматериалов образцов укрепленной цементом минеральной смеси и образцов минеральной смеси, укрепленной цементом совместно с модификатором *MADOR*, после проведения испытаний на определение прочности при сжатии и после испытаний на морозостойкость показывает, что образцы минеральной смеси, укрепленной цементом и модификатором *MADOR*, имеют бочкообразную форму после приложения нагрузки, что свидетельствует в том числе о развитии поперечных деформаций перед разрушением образцов под действием нагрузки.

3. Определение параметров прочности и водопоглощения минеральной смеси с применением модификатора *MADOR*. Для определения причин повышения морозостойкости укрепляемых цементом материалов совместно с модификатором *MADOR* также проведены исследования по определению прочности и параметров водопоглощения минеральной смеси, укрепленной цементом. Состав исследуемых материалов: минеральная смесь (проба № 1) — песок из отсевов дробления щебня ОАО «ПавловскНеруд» — 100 %, цемент 42,5 — 10 % от массы минеральной части, вода — 5 % от массы минеральной части; минеральная смесь (проба № 2) — песок из отсевов дробления щебня ОАО «ПавловскНеруд» — 100 %, цемент 42,5 — 10 % от массы минеральной части, вода — 5 % от массы минеральной части,

добавка *MADOR* — 3 % от массы цемента. Испытания проведены в соответствии с ГОСТ Р 70452-2022 «Дороги автомобильные общего пользования. Грунты стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими. Общие технические условия». Образцы испытаны после 28 сут твердения. Физико-механические показатели испытанных проб представлены в табл. 4

Таблица 4

Наименование показателя	Проба № 1 (<i>MADOR</i> — 0 %)	Проба № 2 (<i>MADOR</i> — 3 %)	Изменение показателя пробы № 2 относительно пробы № 1
Прочность на сжатие <i>R_{сж}</i> сухих образцов после 2 сут нормального твердения, МПа	5,57	6,40	+14,90 %
Прочность на сжатие <i>R_{сж}</i> сухих образцов после 7 сут нормального твердения, МПа	6,21	7,48	+20,45 %
Плотность после 28 сут нормального твердения, г/см ³	2,10	2,12	+1 %
Водонасыщение после 28 сут нормального твердения, %	16,54	15,12	-8,59 %
Водопоглощение после водонасыщения образцов в вакууме и 2 сут в воде, %	17,12	15,30	-10,63 %
Водопоглощение образцов после 28 сут нормального твердения и 2 сут в воде, %	12,61	4,88	-61,30 %
Прочность на растяжение при раскалывании <i>R_р</i> образцов после 28 сут нормального твердения и 2 сут в воде, МПа	0,73	1,03	+41,10 %
Прочность на сжатие <i>R_{сж}</i> сухих образцов после 28 сут нормального твердения, МПа	7,28	7,98	+9,62 %
Прочность на сжатие <i>R_{сж}</i> образцов после 28 сут нормального твердения и 2 сут в воде, МПа	7,01	7,90	+12,70 %

Проведенные исследования по влиянию модификатора *MADOR* на песок из отсевов дробления, укрепленный цементом, показали, что образцы с модификатором *MADOR* имеют более высокие физико-механические показатели. Образцы песка из отсевов дробления, укрепленные цементом совместно с модификатором, имеют показатель водопоглощения более чем в 2 раза ниже, чем у образцов, укрепленных цементом без модификатора, а показатели растяжения при раскалывании и прочности при сжатии выше на 41 и 12 % соответственно. Также образцы песка из отсевов дробления, укрепленные цементом совместно с модификатором, имеют более высокую плотность, а прочность при сжатии на 2 сут сопоставима с прочностью при сжатии на 7 сут с образцами, укрепленными цементом без модификатора (табл. 4).

После проведения испытаний образцов из минеральной смеси на определение показателей прочности и параметров водопоглощения проведены исследования по визуальной оценке водопоглощения образцов, укрепленных цементом, и образцов, укрепленных цементом совместно с модификатором *MADOR*, разными способами.

1 способ. На образцы, твердевшие разные сроки в нормальных условиях, выливали 2 мл воды и фиксировали время впитывания. Вид образцов после попадания воды на поверхность представлен на рис. 2.



Рис. 2. Вид образцов при попадании на них воды. Образец слева укреплен цементом, образец справа укреплен цементом и модификатором *MADOR*

Проведение исследования по визуальной оценке впитывания воды на образцах, укрепленных цементом и укрепленных цементом совместно с модификатором *MADOR*, проводилось в различные сроки твердения: после 28 сут нормального твердения, далее после высушивания образцов на воздухе в течение 7 сут и впоследствии снова твердевших в нормальных условиях еще 7 сут. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: на образцах минерального материала, укрепленного цементом совместно с модификатором *MADOR*, твердевших 28 сут в нормальных условиях, при попадании 2 мл воды на поверхность образца наблюдается гидрофобный эффект по отсутствию впитывания воды в течение 4 ч. Образец минерального материала, укрепленный цементом без модификатора, впитывает воду сразу после ее попадания на его поверхность. При полном высыхании образцов, укрепленных цементом совместно с модификатором *MADOR*, этот визуальный эффект по отталкиванию воды пропадает. После последующего твердения образцов в нормальных условиях в течение 7 сут эксперимент был повторен; установлено, что визуальный гидрофобный эффект появляется снова и образцы, укрепленные цементом совместно с модификатором *MADOR*, отталкивают воду в течение 8 ч. Исходя из проведенных исследований можно сделать вывод, что внесение модификатора *MADOR* в укрепляемый цементом материал придает ему гидрофобные свойства, которые зависят от сроков твердения и условий — твердения на воздухе или в нормальных условиях. Данные свойства обусловлены химическим составом модификатора и выражаются в необходимости впитывания воды из воздуха, как при твердении в нормальных условиях, для проявления гидрофобных свойств укрепленного цементом материала.

2 способ. Образцы, укрепленные цементом и цементом совместно с модификатором *MADOR*, помещались на половину образца в воду на 3 сут, далее распиливались дисковой пилой вдоль образца (рис. 3).



Рис. 3. Вид образцов после 3 сут в воде. Образцы слева укреплены цементом, образцы справа укреплены цементом и модификатором *MADOR*

В ходе проведенного эксперимента по насыщению водой образцов, укрепленных цементом и цементом с модификатором *MADOR*, при погружении их в воду на половину высоты было выявлено, что образцы, укрепленные цементом, полностью насытились водой в первые минуты эксперимента от половины образца, погруженного в воду, до его верха ввиду капиллярного поднятия. Образцы, укрепленные цементом и модификатором *MADOR*, после 3 сут нахождения в воде на половину образца насытились водой на толщину 0,5—1 см (рис. 3).

Проведенные исследования по визуальной оценке водопоглощения образцов, укрепленных цементом и цементом с модификатором *MADOR*, двумя рассмотренными способами объясняют высокие характеристики по морозостойкости и водостойкости материалов, укрепленных цементом совместно с модификатором *MADOR*.

Выводы

Полученные результаты экспериментальных исследований по обоснования возможности применения модификатора *MADOR* при выполнении работ по укреплению и обработке цементом минеральных материалов, используемых в конструкции дорожных одежд, 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 на местные грунты и материалы повторного использования в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

2. Применение модификатора *MADOR*, как препарата улучшающего качество обрабатываемого цементом минерального материала, позволяет получить дорожный конструктив из укрепленного цементом материала с повышенными физико-механическими характеристиками, которые невозможно получить с применением одного цемента в качестве вяжущего.

3. Проведенные исследования позволили установить значительный положительный эффект от применения модификатора *MADOR* на укрепленный цементом минеральный материал по показателям прочности, морозостойкости и водостойкости.

4. Предложено применять модификатор *MADOR* при выполнении работ по укреплению или обработке минеральных материалов с использованием цемента в конструкции дорожных одежд для повышения показателей прочности, морозостойкости и водостойкости в целях обеспечения долговечности и увеличения межремонтных сроков 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 // Применение укрепленных грунтов при строительстве дорожных одежд с использованием отходов промышленности в качестве вяжущих и добавок химических веществ / Ю. М. Васильев. — М., 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 ВГАСУ. 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. **Петкявичус, К.** Возможности использования местных нерудных материалов при строительстве и ремонте автомобильных и железных дорог / К. Петкявичус, 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. Язиков // *Экология и новые технологии в строительном материаловедении: междунац. сб. науч. тр.* — Новосибирск, 2010. — С. 74—75.
12. **Пичугин, А. П.** Физико-химические процессы в укрепленных грунтах / В. А. Пичугин, В. А. Гришина, И. К. Язиков // *Строительные материалы*. — 2009. — № 12. — С. 41—43.
13. **Подольский, Вл. П.** Строительство автомобильных дорог. Земляное полотно / Под ред. Вл. П. Подольского. — М.: ИЦ «Академия», 2013. — 304 с.
14. **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.
15. **Подольский, Вл. П.** О возможности расширения ресурсной базы дорожного строительства за счет стабилизации и укрепления грунтов / Вл. П. Подольский, Нгуен Ван Лонг, Нгуен Дык Ши // *Научный Вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура*. — 2014. — № 1. — С. 102—111.
16. **Фурсов, С. Г.** Эффект модификатора «ДорЦем ДС-1» / С. Г. Фурсов и др. // *Автомобильные дороги*. — 2011. — № 5. — С. 136—139.
17. **Horiuchi, Sumio.** Effective use of fly ash slurry as filler material / Sumio Horiuchi, Masato Kawaguchi, Kazuya Yasuhara // *J. Hazardous Mater.* — 2000. — Vol. 76, № 2—3 — P. 301—337.
18. **Xu, A.** Potentials of high — volume fly ash utilization in concrete and cementations products / A. Xu, Sh. L. Sarkar // *Proc. Amer. Power Conf. 59th Annu. Meet., Amer. Power Conf., Chicago, 111., 1996.* — 1996. — Vol. 58, Pt. 1. — P. 651—656.
19. **Brendel, Gary.** Tackling Indias coal ash problem / Gary Brendel // *Mining Eng.* — 1999. — Vol. 51, № 10. — P. 44—45.
20. **Jingbang, Shao.** Fly ash utilisation in China / Shao Jingbang // *Proc. 20th Int. Miner Process. Congr., Aachen, 21 — 26 Sept.* — 1997. — Vol. 5. — P. 109 —111.
21. **Cheriaf, M.** Pozzolanic properties of pulverized coal combustion asch / M. Cheriaf, J. C. Rocha // *Cem. and Concr.* — 1999. — Vol. 29, № 9. — P. 1387—1391.

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. — М.: Transport, 1982. — 231 s.
2. **Vasil'ev, Yu. M.** Trebovaniya k deformativnoi sposobnosti ukreplennykh gruntov // *Primeneniye ukreplennykh gruntov pri stroitel'stve dorozhnykh odezhd s ispol'zovaniem otkhodov promyshlennosti v kachestve vyazhushchikh i dobavok khimicheskikh veshchestv* / Yu. M. Vasil'ev. — М., 1981. — С. 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. — С. 21—25.
4. **Vernigorova, V. M.** Sovremennyye metody issledovaniya svoystv stroitel'nykh materialov / V. M. Vernigorova. — М.: 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. — М.: Transport, 1992. — 551 s.
6. **Kochetkova, R. G.** Uluchsheniye svoystv glinistykh gruntov stabilizatorami / R. G. Kochetkova // *Avtomobil'nye dorogi*. — 2006. — № 3. — С. 25—28.
7. **Lanko, A. V.** Gidrofobizirovannyye lessovyye tsementogrunty v dorozhnom stroitel'stve / A. V. Lanko // *Stroitel'nye materialy*. — 2008. — № 4. — С. 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 VGASU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. — 2010. — № 3 (19). — С. 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. — С. 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: mezhdun. sb. науч. тр.* — Novosibirsk, 2010. — С. 74—75.
12. **Pichugin, A. P.** Fiziko-khimicheskie protsessy v ukreplennykh gruntakh / V. A. Pichugin, V. A. Grishina, I. K. Yazikov // *Stroitel'nye materialy*. — 2009. — № 12. — С. 41—43.

13. **Podol'skii, V. P.** Stroitel'stvo avtomobil'nykh dorog. Zemlyanoe polotno / Pod red. V. P. Podol'skogo. — M.: ITs «Akademiya», 2013. — 304 s.
14. **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.
15. **Podol'skii, V. P.** O vozmozhnosti rasshireniya resursnoi bazy dorozhnogo stroitel'stva za schet stabilizatsii i ukrepleniya gruntov / V. P. Podol'skii, Nguen Van Long, Nguen Dyk Shi // Nauchnyi Vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arkhitektura. — 2014. — № 1. — S. 102—111.
16. **Fursov, S. G.** Effekt modifikatora «DorTsem DS-1» / S. G. Fursov i dr. // Avtomobil'nye dorogi. — 2011. — № 5. — S. 136—139.
17. **Horiuchi, Sumio.** Effective use of fly ash slurry as filler material / Sumio Horiuchi, Masato Kawaguchi, Kazuya Yasuhara // J. Hazardous Mater. — 2000. — Vol. 76, № 2—3 — P. 301—337.
18. **Xu, A.** Potentials of high — volume fly ash utilization in concrete and cementations products / A. Xu, Sh. L. Sarkar // Proc. Amer. Power Conf. 59th Annu. Meet., Amer. Power Conf., Chicago, 111., 1996. — 1996. — Vol. 58, Pt. 1. — P. 651—656.
19. **Brendel, Gary.** Tackling Indias coal ash problem / Gary Brendel // Mining Eng. — 1999. — Vol. 51, № 10. — P. 44—45.
20. **Jingbang, Shao.** Fly ash utilisation in China / Shao Jingbang // Proc. 20th Int. Miner Process. Congr., Aachen, 21 — 26 Sept. — 1997. — Vol. 5. — P. 109 —111.
21. **Cheriaf, M.** Pozzolanic properties of pulverized coal combustion asch / M. Cheriaf, J. C. Rocha // Cem. and Concr. — 1999. — Vol. 29, № 9. — P. 1387—1391.

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE MADOR MODIFIER
ON THE INDICATORS OF FROST RESISTANCE AND WATER RESISTANCE
CEMENT-REINFORCED DISPERSED MATERIALS
FOR ROAD CONSTRUCTION**

F. V. Matvienko¹, N. I. Panevin², A. N. Kanishchev³, V. C. Shapauskas⁴

*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: panevinn@mail.ru*

³ *D. Sc. in Engineering, Prof. of the Dept. of Construction and Operation of Highways, e-mail: velt@mail.ru*

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

Statement of the problem. In the Russian Federation and abroad, manufacturers offer a large number of various additives and stabilizers used in the performance of work on strengthening and processing soils, crushed stone-gravel-sand and organic and mineral mixtures with cements. However, a common problem with most manufactured additives and modifiers is the lack of complete information about the possibility of their applications for certain road construction conditions. This circumstance led to the need to conduct a study of one of the additives to cement used to strengthen soils and stone materials — the MADOR modifier.

Results. An overview of the results of studies on the possibility of using the MADOR modifier to strengthen dispersed mineral materials used in the construction of road pavement with cement is given. The obtained results demonstrate an improvement in the strength characteristics, frost resistance and water resistance of cement-reinforced mineral dispersed materials in combination with the MADOR modifier.

Conclusions. The positive effect of using the MADOR modifier to strengthen the studied materials in combination with cement has been proven. It is proposed to recommend this modifier for use in conjunction with cement in road construction to increase the frost resistance and strength of structural elements of pavement reinforced with cement.

Keywords: highways, soil reinforcement, cement, MADOR modifier, strength, frost resistance.