

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРА MADOR
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ УКРЕПЛЕННОГО ЦЕМЕНТОМ МАТЕРИАЛА**

Ф. В. Матвиенко¹, О. Б. Кукина², А. С. Строкин³, А. Г. Лукашук⁴

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 химии и химических технологий материалов, e-mail: u00136@vgasu.vrn.ru

³ Канд. техн. наук, доц. кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог,
e-mail: alextech23@gmail.com

⁴ Инженер, соискатель, тел.: +7-910-746-89-46

Постановка задачи. При выполнении дорожно-строительных работ с применением технологии холодного ресайклинга, устройстве оснований из цемента-щебеночно-гравийно-песчаных смесей или укрепленных грунтов возникает вопрос о применении различных модификаторов или стабилизаторов. Серийно на территории РФ выпускается большое количество различных модификаторов и стабилизаторов, представляющих собой добавки, применяемые совместно с вяжущими для повышения качества укрепляемых материалов — конструктивных слоев дорожных одежд. Определение влияния модификаторов и стабилизаторов (в частности, модификатора MADOR) на структуру укрепляемого вяжущим материала требует проведения исследований физико-химическими методами.

Результаты. Приведен обзор результатов физико-химических исследований влияния модификатора MADOR на структуру несвязных грунтов, укрепленных цементом и применяемых для сооружения конструктивных слоев дорожной одежды. Представлены результаты исследований структуры материала, укрепленного цементом совместно с модификатором MADOR.

Выводы. Установлен положительный эффект от применения модификатора MADOR для укрепления исследуемого материала за счет преобладания активной фазы, обеспечивающей более высокую однородность структуры и повышенные физико-механические свойства. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о повышении долговечности и надежности конструктивных слоев дорожных одежд, устроенных методом холодной регенерации с применением модификатора MADOR.

Ключевые слова: автомобильные дороги, укрепление грунтов, цемент, модификатор MADOR, рентгенофазовый анализ, технология холодного ресайклинга.

Введение. В настоящее время в практике дорожного строительства при укреплении грунтов или щебеночно-песчано-гравийных смесей цементами для улучшения их технологических и физико-механических свойств широкое применение находят различного рода модификаторы и стабилизаторы [2, 6, 7, 15—21]. Эффективности применения модификаторов и стабилизаторов при укреплении грунтов по различным методикам посвящено большое количество исследований [3, 4, 11, 12], получен положительный опыт в области строительства и ремонта автомобильных дорог [1, 5, 9, 10, 13, 14].

Для улучшения технологических свойств, повышения прочности и морозостойкости, а также для повышения деформативной и несущей способности конструктивного слоя [8] сле-

дует применять химические добавки, удовлетворяющие требованиям соответствующих нормативных документов. Применение добавки к цементу при укреплении грунтов должно обосновываться для конкретного типа условий выполнения дорожных работ.

На сегодняшний день различными производителями предлагается большое количество разнообразных добавок к цементу, используемых при выполнении работ по укреплению материалов, применяемых в качестве основания автодороги. При этом в подавляющем большинстве случаев отсутствует какая-либо информация о воздействии модификатора на физико-химические свойства укрепляемого материала, по которой возможно провести объективную оценку возможности ее применения для конкретных условий ремонта или строительства автодороги. Данное обстоятельство привело к необходимости исследования препаратов, применяемых при укреплении грунтов цементом.

Для проведения оценки влияния добавки на физико-химические свойства укрепляемого цементом материала проведены исследования модификатора MADOR (СТО 16308651-001-2022). По информации изготовителя, данная добавка позволяет повысить качество обрабатываемого грунта или щебеночно-песчано-гравийной смеси, укрепляемой цементом, для повышения долговечности и срока службы основания автомобильной дороги. Исследование влияния модификатора MADOR на изменение структуры укрепляемого цементом дисперсного материала проводилось тремя способами:

- 1) путем исследования микроструктуры материалов на растровом электронном микроскопе JSM-6380LV;
- 2) рентгенофазовым анализом на автоматическом дифрактометре PANalytical EMPYREAN;
- 3) анализом химического состава усредненной пробы материала на рентгенофлуоресцентном спектрометре S8 Tiger (Bruker AXS GmbH).

Для проведения исследования взяты образцы укрепленного цементом и модификатором MADOR материала следующего состава:

- грунт (песчаный) по ГОСТ 25100-2020 — 50 %, песок из отсевов дробления щебня Обуховского карьера (фр. < 0,315 мм) — 50 %, цемент 42,5 — 10 % от массы минеральной части (грунт + отсев), вода — 11,43 % (оптимальная влажность грунта);
- грунт (песчаный) по ГОСТ 25100-2020 — 50 %, песок из отсевов дробления щебня Обуховского карьера (фр. < 0,315 мм) — 50 %, цемент 42,5 — 10 % от массы минеральной части (грунт + отсев), вода — 11,43 % (оптимальная влажность грунта), добавка MADOR — 3 % от массы цемента.

1. Исследование микроструктуры материалов, укрепленных цементом, методом электронной микроскопии. Исследование микроструктуры материалов, укрепленных цементом (Ц) и модификатором MADOR (М), проводилось на растровом электронном микроскопе JSM-6380LV. В ходе исследований были получены изображения объектов в режиме вторично-электронной эмиссии при ускоряющем напряжении 20 кВ и увеличении от $\times 350$ до $\times 10000$. Изображения демонстрируют микроструктуру поверхности сколов образцов. Присутствующий на изображениях микронный маркер позволяет оценить размеры зерен, толщины слоев и масштабы других интересующих особенностей. Для исследований поверхностей на растровом микроскопе были изготовлены свежие изломы (сколы) структур. Плоские фрагменты сколов размером 5—10 мм закреплялись на держателях образцов с помощью двусторонней липкой электропроводящей ленты. Подготовленные таким способом образцы на держателях размещались на гониометрическом столике в рабочей камере РЭМ и после вакуумирования камеры подвергались обследованию. Проведенные исследования позволяют получить изображения поверхности объекта с высоким (до 0,4 нанометра) пространственным разрешением.

Полученные изображения представлены на рис. 1 и 2.

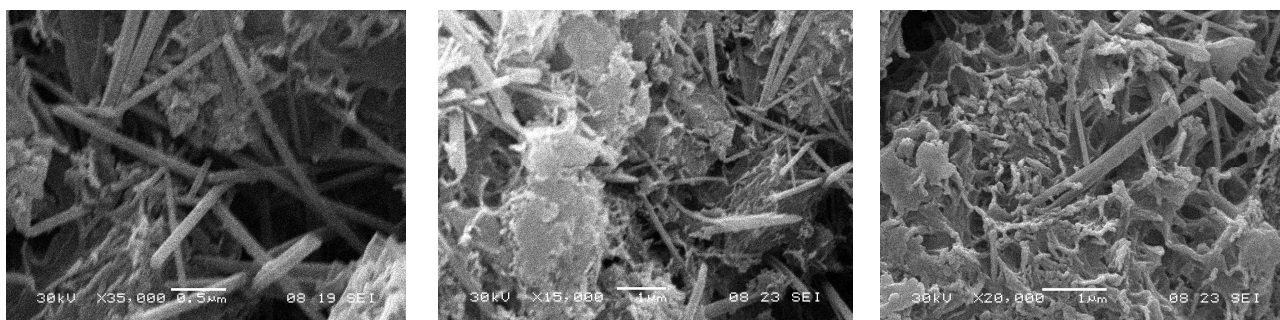


Рис. 1. Вид образцов материала, укрепленного цементом

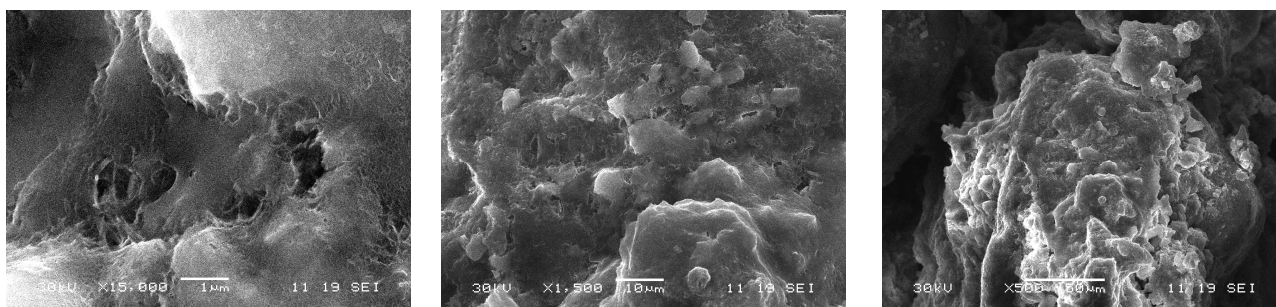


Рис. 2. Вид образцов материала, укрепленного цементом и модификатором MADOR

По результатам исследований, выполненных методом электронной микроскопии, можно сделать заключение, что:

- у образцов материала, обработанных цементом без модификатора, преобладает каркасная кристаллическая структура с наличием игольчатых кристаллов, характерных для кристаллов новообразований цементного камня, которые обуславливают хрупкость и ломкость материала при наложении на него внешней нагрузки;

- у образцов материала, обработанных цементом и модификатором MADOR, преобладает монолитная аморфная структура с наличием микропористой кристаллической сетки алюмосиликатов с размерами пор менее 50—500 нм, что обеспечивает однородность структуры материала, его стабильные физико-механические свойства. Совместное действие цемента и модификатора MADOR связано с комплексом взаимосвязанных механизмов: каталитической ролью наноразмерных (до 100 нм) частиц как центров кристаллизации, при которой происходит снижение энергетического барьера химических и физико-химических взаимодействий; механизма, связанного с увеличением вероятности протекания химических превращений в гетерогенных процессах фазообразования гидратных соединений при соответствующих химико-минеральном составе и высоких значениях удельной площади поверхности частиц модификатора MADOR и наноразмерных частиц реагирующих фаз.

2. Исследование микроструктуры материалов, укрепленных цементом, методом рентгенофазового анализа. Рентгенофазовый анализ проводили на автоматическом дифрактометре PANalytical EMPYREAN (рис. 3) с использованием излучения $\text{CuK}\alpha 1$ (гибридный $\text{Ge}\{111\}$ монохроматор на первичном пучке) и позиционно-чувствительного детектора PIXcellD. Измерение проводили в режиме отражения, $\theta/2\theta$ сканирование с шагом $0,026^\circ$ по 2θ . Диапазон измерения — $15...80^\circ 2\theta$. Расчет межплоскостных расстояний и интегральных интенсивностей, используемых для уточнения параметров ячейки, проводился по данным профильного анализа экспериментальных дифрактограмм (метод Паули). Фазовый анализ (полуколичественный) проводился с использованием «порошковой» базы данных PDF-2 ICDD (Международного центра дифракционных данных). Все расчеты по уточнению дифрактограмм, определению и уточнению параметров ячеек, определению фазового состава

проводились с использованием комплекса программ HighScore Plus, Version: 3.0. t (3.0.5) (разработка компании PANalytical B. V., Нидерланды).

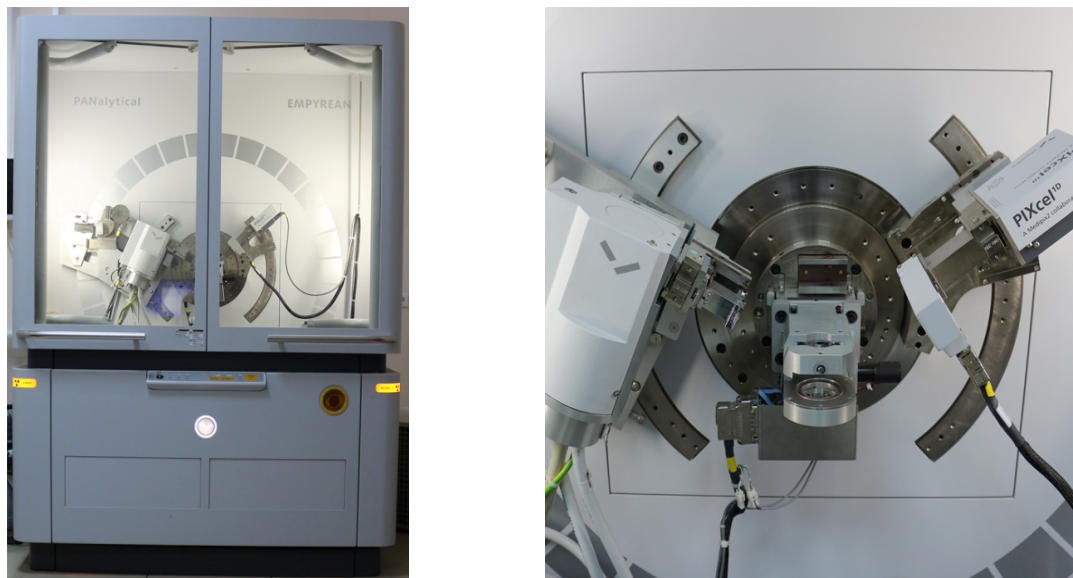


Рис. 3. Оборудование для исследования микроструктуры методом рентгенофазового анализа

В ходе проведенных исследований материала, укрепленного Ц и ЦМ, методом рентгенофазового анализа были получены рентгенограммы, изображенные на рис. 4 и 5.

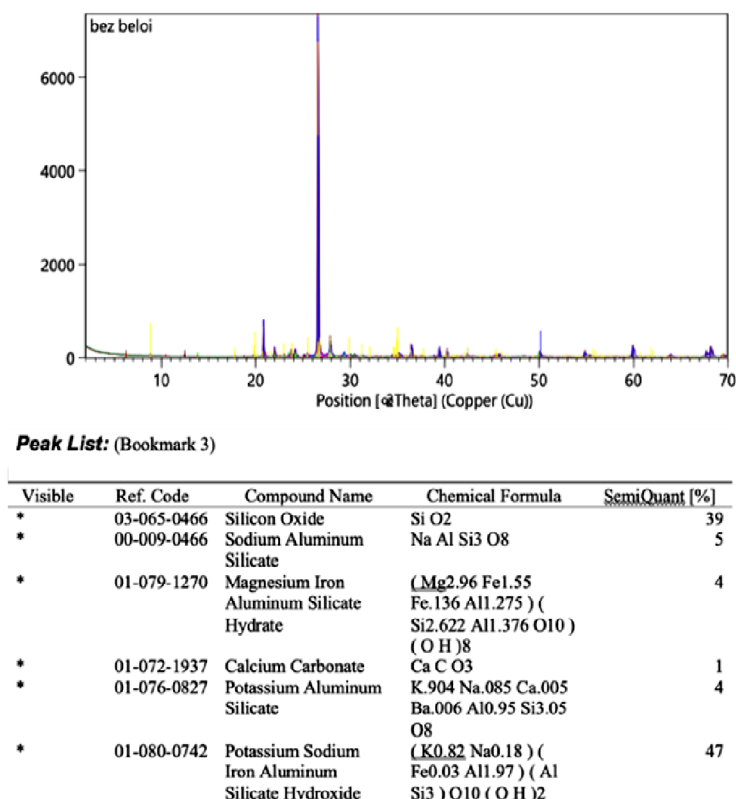


Рис. 4. Рентгенограмма образцов материала, укрепленного цементом

По результатам исследований, выполненных методом рентгенофазового анализа, установлено, что в структурообразовании материала, обработанного цементом без модификатора, принимает участие 39 % частиц кремнезема, а в материале, обработанном цементом и

модификатором MADOR, 50 % частиц кремнезема, что в 1,28 раза больше. Частицы кремнезема предоставляют аморфную (активную) часть структуры для адсорбционных процессов на их поверхности. Помимо возникновения механических контактов между частицами композита образуются новые химические связи с аморфным кремнеземом, что обеспечивает более высокие физико-механические характеристики материала.

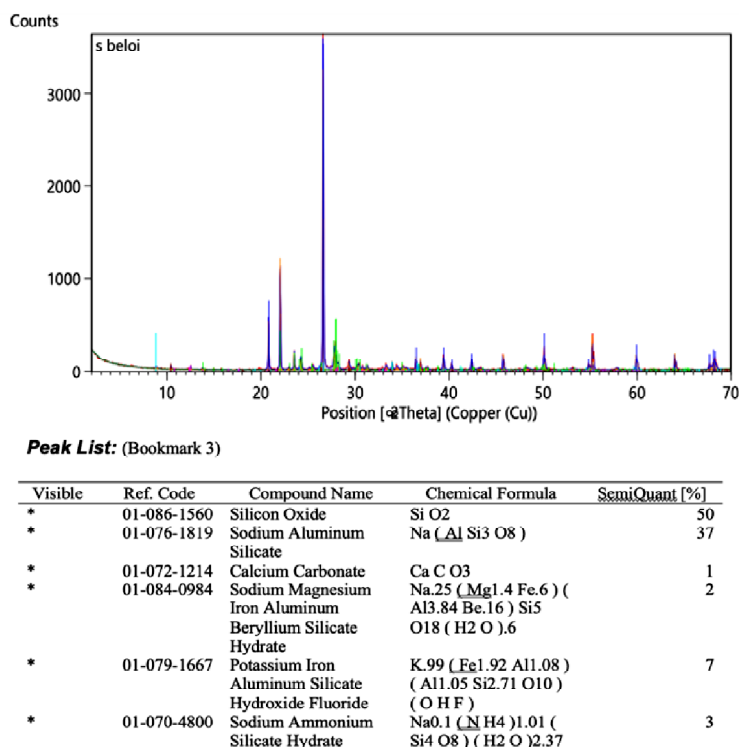


Рис. 5. Рентгенограмма образцов материала, укрепленного цементом и модификатором MADOR

3. Исследование микроструктуры материалов, укрепленных цементом, методом анализа химического состава. Химический состав усредненной пробы материалов, укрепленных Ц и ЦМ, определялся на рентгенофлуоресцентном спектрометре S8 Tiger (Bruker AXS GmbH). Обработка результатов проводилась посредством разработанных методик в программе Spectra Plus (Bruker AXS GmbH). Рентгенофазовый анализ проводили на автоматическом дифрактометре Panalytical Empyrean на ориентированных препаратах фракции менее 0,002 мм. Количественные определения минеральных фаз производились методом интегральных интенсивностей по высоте рефлексов.

Полученные в ходе химического анализа материала, укрепленного Ц и ЦМ, результаты показаны в таблице.

Таблица

Результаты элементного анализа

Показатель, %	Образец с модификатором MADOR	Образец без модификатора MADOR	Показатель, %	Образец с модификатором MADOR	Образец без модификатора MADOR
Na	0,377	0,302	Ca	8,982	7,741
Mg	0,538	0,446	Ti	0,272	0,249
Al	2,457	2,084	Cr	0,023	0,012
Si	12,483	11,104	Mn	0,123	0,095
P	0,038	0,036	Fe	4,283	3,635
S	0,15	0,132	Zn	0,03	0,02
K	1,056	0,925	Sr	0,104	0,098

Исследования материала, укрепленного Ц и М, методом химического анализа дали следующие результаты: основными структурообразующими элементами данных композитов являются кальций, кремний, алюминий, магний, железо. В образцах, обработанных модификатором MADOR, их содержание больше на 15—20 %, чем в образцах без модификатора. Увеличенное содержание основных структурообразующих элементов позволяет при формировании получать большее число коагуляционных и кристаллизационных контактов, что приводит к увеличению прочностных показателей материала.

Выводы

1. В ходе проведенных исследований влияния модификатора MADOR на качество укрепляемых цементом грунтов и минеральных смесей установлено его положительное влияние на их физико-механические свойства.

2. Повышение физико-механических характеристик достигается за счет того, что при применении модификатора MADOR в укрепляемом цементом материале преобладает активная фаза, обеспечивающая более высокую однородность структуры и повышенные физико-механические характеристики.

3. В структурообразовании материала, обработанного цементом и модификатором MADOR, принимает участие в 1,28 раза больше частиц кремнезема. Частицы кремнезема предоставляют аморфную (активную) часть структуры для концентрации других твердых частиц на поверхности. Помимо возникновения механических контактов между частицами композита образуются новые химические связи, что обеспечивает более высокие физико-механические характеристики материала.

4. Количество кальция, кремния, алюминия, магния, железа, находящихся в образцах, обработанных модификатором MADOR, больше на 15—20 %, чем в образцах, не обработанных модификатором. Увеличенное содержание таких элементов позволяет при формировании получать большее число прочных контактов в кристаллической решетке, что приводит к повышению прочностных показателей материала.

5. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о повышении долговечности и надежности конструктивных слоев дорожных одежд, устроенных методом холодной регенерации с применением модификатора MADOR.

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. — 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. — № 3. — 2006. — 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: 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. Язиков // Строительные материалы. — 2009. — № 12. — С. 41—43.
13. **Подольский, Вл. П.** Строительство автомобильных дорог / Вл. П. Подольский [и др.] // Земляное полотно. — 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, Ван Лонг Нгуен, Дык Ши Нгуен // Научный Вестник Воронежского ГАСУ. — 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, S.** Effective use of fly ash slurry as fill 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. — Vol. 58, Pt 1. — P. 651—656.
19. **Brendel, G.** Tackling Indias coal ash problem / Gary Brendel // Mining Eng. — 1999. — Vol. 51, № 10. — P. 44—45.
20. **Jingbang, S.** Fly ash utilisation in China / Shao Jingbang // Proc. 20th Int. Miner Process. Congr., Aachen, 21—26 Sept., 1997, Clausthal — Zellerfeld. — 1997. — Vol. 5. — P. 109—111.
21. **Cheriaf, M.** Pozzolanic properties of pulverized coal combustion asch / M. Rocha J. C. Cheriaf // 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. — 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. — M., 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. — 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. — № 3. — 2006. — 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 konstruktssii 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: mezhdunar. sb. nauch. tr. — Novosibirsk, 2010. — С. 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. — С. 41—43.

13. **Podol'skii, V. P.** Stroitel'stvo avtomobil'nykh dorog / V. P. Podol'skii [i dr.] // Zemlyanoe polotno. — 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, Van Long Nguen, Dyk Shi Nguen // Nauchnyi Vestnik Voronezhskogo GASU. — 2014. — № 1. — S. 102—111.
16. **Fursov, S. G.** Effekt modifikatora «DorTsem DS-1» / S. G. Fursov [i dr.] // Avtomobil'nye dorogi. — 2011. — № 5. — С. 136—139.
17. **Horiuchi, S.** Effective use of fly ash slurry as file 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. — Vol. 58, Pt 1. — P. 651—656.
19. **Brendel, G.** Tackling Indias coal ash problem / Gary Brendel // Mining Eng. — 1999. — Vol. 51, № 10. — P. 44—45.
20. **Jingbang, S.** Fly ash utilisation in China / Shao Jingbang // Proc. 20th Int. Miner Process. Congr., Aachen, 21—26 Sept., 1997, Clausthal — Zellerfeld. — 1997. — Vol. 5. — P. 109—111.
21. **Cheriaz, M.** Pozzolanic properties of pulverized coal combustion asch / M. Rocha J. C. Cheriaz // Cem. And Concr. — 1999. — Vol. 29, № 9. — P. 1387—1391.

PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS FOR INVESTIGATING THE EFFECT OF THE «MADOR» MODIFIER ON THE CHARACTERISTICS OF A CEMENT REINFORCED MATERIAL

F. V. Matvienko ¹, O. B. Kukina ², A. S. Strokin ³, A. G. Lukashuk 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 Chemistry and Chemical Technologies of Materials,
e-mail: u00136@vgasu.vrn.ru*

³ *PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Construction and Operation of Highways,
e-mail: alexmech23@gmail.com*

⁴ *Engineer, PhD in Engineering Candidate, tel.: +7-910-746-89-46*

Statement of the problem. When performing road construction works using cold recycling technology, the construction of foundations from cement-crushed stone-gravel-sand mixtures or reinforced soils, the question arises about the use of various modifiers or stabilizers. A large number of various modifications and stabilizers are produced serially in the territory of the Russian Federation, which are additives used together with binders to improve the quality of reinforced materials — structural layers of road clothes. Determining the effect of modifiers and stabilizers (in particular, the MADOR modifier) on the structure of the binder-reinforced material requires research by means of physical and chemical methods.

Results. The review of the results of physical and chemical studies of the effect of the MADOR modification on the structure of non-cohesive soils reinforced with cement and used for the construction of structural layers of pavement is provided. The results of the studies of the structure of the material reinforced with cement together with the MADOR modifier are presented.

Conclusions. A positive effect from the use of the MADOR modifier for strengthening the material under study has been established due to the predominance of the active phase, which provides a higher uniformity of the structure and increased physical and mechanical properties. The studies allow us to conclude that the durability and reliability of the structural layers of road pavement arranged by the method of cold regeneration using the MADOR modifier are increased.

Keywords: highways, soil reinforcement, cement, MADOR modifier, X-ray phase analysis, cold recycling technology.