

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

УДК 625.8

DOI 10.36622/2541-7592.2025.77.1.011

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ ГУМУСИРОВАННЫХ ГРУНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИКАТОРА «MADOR»

Ф. В. Матвиенко¹, О. Б. Кукина², А. С. Строкин³, И. В. Константинова⁴*Воронежский государственный технический университет*^{1,2,3}*Россия, г. Воронеж**АО «БАМТОННЕЛЬСТРОЙ-МОСТ»*⁴*Россия, г. Грозный*

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 Ведущий инженер, e-mail: miroslava36@mail.ru

Постановка задачи. При выполнении дорожно-ремонтных работ с применением технологии холодного ресайклинга (при устройстве оснований из укрепленных грунтов или инертных материалов) в ряде случаев возникает проблема попадания гумусированных глинистых грунтов в конструктивный слой дорожной одежды. Также при решении специальных технических задач, таких как устройство временных дорог, устройство дорог для проезда сельскохозяйственной техники в период весенней распутицы, существует необходимость в укреплении гумусированных глинистых грунтов для обеспечения движения транспортных средств по устроенному слою. Данное обстоятельство привело к необходимости разработки технологии устройства слоя покрытия или основания из гумусированного грунта с применением различных неорганических вяжущих, в том числе в комплексе с добавкой *MADOR*, необходимой для улучшения физико-механических характеристик конструктивных слоев дорожных одежд из укрепленных цементом материалов.

Результаты. Представлена технология выполнения работ по устройству слоя дорожной одежды с применением гумусированных глинистых грунтов. Приведен обзор результатов физико-механических и физико-химических исследований влияния модификатора *MADOR* на структуру глинистого гумусированного грунта, укрепленного цементом и применяемого для сооружения конструктивных слоев дорожной одежды. Представлены результаты исследований структуры грунта, укрепленного цементом совместно с модификатором *MADOR*.

Выводы. Установлена возможность применения разработанной технологии и доказан положительный эффект от применения модификатора *MADOR* для укрепления гумусированного глинистого грунта.

Ключевые слова: автомобильные дороги, укрепление грунтов, цемент, модификатор *MADOR*, исследование микроструктуры материалов.

Введение. На территории Воронежской области в большом количестве имеются гумусированные грунты — черноземы, область применения которых при прохождении по ним автомобильных дорог крайне ограничена. Стандартными инженерными решениями являются вы-

воз черноземного грунта с площадки ведения дорожных работ, а также рассмотрение возможности его стабилизации или укрепления неорганическими вяжущими. В соответствии с нормативными требованиями для укрепления цементами применяют все виды пылеватых и глинистых грунтов с числом пластичности не более 12, при этом не допускается применять грунты, содержащие гумусовые вещества в количестве 2 % по массе, в I и II дорожно-климатических зонах, более 4 % — в III—V зонах. При выполнении работ по ремонту автомобильных дорог методом холодного ресайклинга гумусированные грунты, с количеством гумуса, не превышающим требования нормативных документов для укрепления их цементом, могут попадать в конструктивный слой с обочины, с нижележащих слоев грунта земляного полотна или откосной части. Также в случае решения специальных технических задач, таких как устройство временных подъездных дорог или дорог для проезда тяжелой техники в период распутицы, может возникать производственная необходимость в применении вышеуказанных грунтов для укрепления их цементом в качестве дорожного основания или покрытия. Данное обстоятельство требует разработки технических решений, позволяющих обеспечить их пригодность в указанных случаях.

Как показывает опыт отечественного и зарубежного строительства, для решения поставленных задач применение одного неорганического вяжущего в виде извести или цемента в большинстве случаев не обеспечивает требуемых физико-механических показателей укрепляемого слоя из гумусированного грунта.

В настоящее время в дорожном строительстве при укреплении грунтов неорганическими вяжущими для улучшения их физико-механических свойств широко применяются различного рода добавки-модификаторы и стабилизаторы [3, 6, 7, 11, 12, 15, 17—20]. По вопросу эффективности применения добавок при укреплении грунтов неорганическими вяжущими проведено большое количество исследований [2, 4, 16, 21] и получен положительный опыт в области строительства и ремонта автомобильных дорог [1, 5, 9, 10, 13, 14]. В соответствии с нормативными требованиями для повышения прочности, морозостойкости и несущей способности конструктивного слоя [8] следует применять химические добавки, удовлетворяющие требованиям соответствующих нормативных документов. В ходе многолетних исследований в требованиях нормативной документации установлено правило, что 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, применяемых при выполнении работ по укреплению материалов, а также в качестве основания автодороги. Для проведения сравнительной оценки влияния модификатора на физико-химические свойства укрепляемого цементом материала проведены исследования модификатора *MADOR* (СТО 16308651-001-2022).

1. Исследование влияния негашеной извести на физико-механические показатели укрепленного гумусированного грунта. Для проведения исследований и разработки методов укрепления гумусированных грунтов отобраны пробы чернозема с сельскохозяйственных угодий Россошанского района Воронежской области с естественной влажностью грунта 26 %. В целях определения характеристик отобранной пробы грунта проведены ее лабораторные исследования для последующей оценки возможности укрепления грунта неорганическим вяжущим. В результате лабораторных исследований установлено, что число пластичности исследуемого грунта составляет 17,96, что соответствует глине. Содержание гумуса в исследуемой пробе составляет 12,43 %, что превышает верхнюю нормативную границу (4 %) более чем в 3 раза. Также в целях приведения данного грунта в переувлажненное состояние, которое наблюдается в условиях весенней распутицы, в грунт дополнительно введено 5 % воды. Общая влажность грунта составляет 31 %.

В первом эксперименте для проведения лабораторных исследований по укреплению гумусированного грунта в качестве вяжущего взята известь негашеная.

Работы по укреплению грунта проводились в 2 этапа:

1 этап. Предварительное введение 5 % извести;

2 этап. Укрепление путем введения дополнительно 15 % извести через 3,5 часа.

Проценты вяжущего брались к массе влажного грунта, с влажностью — 31 %.

В результате для лабораторных исследований были подготовлены 2 серии проб:

1 серия – гумусированный грунт с 5 % извести сверх 100 % влажного грунта;

2 серия – гумусированный грунт с предварительным введением 5 % извести и введением через 3,5 часа дополнительно 15 % извести.

На рис. 1 представлен внешний вид пробы гумусированного грунта, обработанного 5 % извести, и необработанной пробы грунта.



Рис. 1. Слева — вид гумусированного грунта, обработанного 5 % извести, справа — вид гумусированного грунта, не обработанного известью

Ввиду того, что описанный подход к укреплению вяжущим гумусированных грунтов с ненормативными характеристиками подразумевает их возможное применение для конструктивных элементов временных подъездных дорог, проездов для сельско-хозяйственной техники или для грунтов рабочего слоя дорог с низкой интенсивностью движения, лабораторные испытания проводились по методике ГОСТ 23558-94 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства». В ходе проведенных исследований определялись следующие физико-механические показатели: прочность при сжатии $R_{сж}$ сухих образцов после 7 суток твердения в нормальных условиях (как показатель, определяющий возможность открытия движения построечного транспорта); прочность при сжатии $R_{сж}$ сухих и водонасыщенных образцов после 28 суток нормального твердения с последующим расчетом коэффициента водостойкости и водопоглощения после 2 суток в воде по приросту массы образцов после их нахождения в воде перед испытаниями на прочность. На рис. 2 представлен вид отформованных образцов 1 и 2 серии до и после испытания на прочность при сжатии.



Рис. 2. Слева — вид отформованных образцов, справа — вид образцов после их испытания на прочность при сжатии после 28 суток

Показатели физико-механических свойств исследуемых образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств

Наименование показателя	Значение показателя образцов	
	Серия № 1	Серия № 2
Прочность при сжатии $R_{сж}$ сухих образцов после 7 суток твердения в нормальных условиях, МПа	1,59	5,47
Прочность при сжатии $R_{сж}$ сухих образцов после 28 суток нормального твердения, МПа	2,27	5,94
Прочность при сжатии $R_{сж}$ образцов после 28 суток нормального твердения и 2 суток в воде, МПа	1,28	3,30
Водопоглощение после 2 суток в воде, %	5,42	5,93
Коэффициент водостойкости после 28 суток твердения и 2 суток в воде	0,56	0,55

Результаты испытаний глинистого грунта с 12,43 % гумуса серии № 1, укрепленного негашеной известью 5 %, показали марочную прочность М10. Испытание глинистого грунта с 12,43 % гумуса серии № 2, укрепленного негашеной известью 5 % с последующим внесением после 3,5 часов дополнительно 15 % негашеной извести, показали марочную прочность М20. При этом коэффициент водостойкости в обеих сериях имеет низкое значение.

В результате проведенных исследований по разработке технологии укрепления гумусированных грунтов с превышающими содержание гумуса нормируемыми значениями было подтверждено, что технологические приемы по укреплению гумусированных грунтов требуют разработки нестандартных методов с применением различных модифицирующих добавок для улучшения их свойств.

2. Исследование влияния цемента на физико-механические показатели укрепленного гумусированного грунта. Для разработки технологических приемов, позволяющих укреплять гумусированный грунт неорганическим вяжущим и делать получаемый материал пригодным для специальных технических решений, разработан метод, заключающийся в «закреплении» цементом такого грунта, выдержке технологического перерыва с последующей деструкцией, внесением цемента в объеме, необходимом для его укрепления, в комплексе с модифицирующей комплексной добавкой, позволяющей довести прочностные физико-механические характеристики укрепленного цементом грунта до требований нормативных документов. Под «закреплением» грунта понимается придание ему прочностных и улучшенных водно-физических свойств путем введения дозировок вяжущего, превышающих нормы стабилизации, то есть более 2 %, но при этом без доведения физико-механических характеристик до нормативных требований укрепленного грунта. Областью применения разрабатываемой технологии «закрепления» гумусированных грунтов с последующим укреплением является устройство конструктивных элементов временных подъездных дорог, проездов для сельскохозяйственной техники или для грунтов рабочего слоя дорог с низкой интенсивностью движения. Внедрение данного метода в капитальное строительство для дорог высоких категорий с высокой интенсивностью движения требует проведения большого комплекса опытно-экспериментальных исследований с разработкой отдельных нормативных документов и является отдельным научным направлением. В данной работе рассмотрена принципиальная возможность применения данного метода с проведением необходимого комплекса лабораторных исследований. Результаты исследований подтверждают гипотезу о возможности применения добавок для получения требуемых физико-механических характеристик в совокупности с предлагаемым методом «закрепления» грунтов с последующим укреплением до нормативных требований.

В лабораторных исследованиях также использовалась проба гумусированного грунта. Число пластичности исследуемого грунта составляет 17,96, что соответствует глине,

содержание гумуса в исследуемой пробе составляет 12,43 % (при верхней нормативной границе 4 %). Подготовка лабораторных образцов осуществлялась при оптимальной влажности по ГОСТ 23558-94.

В лабораторных условиях подготовлено 2 серии образцов гумусированного грунта, обработанного цементом.

Серия № 1 укреплялась цементом в объеме 240 кг/м^3 от массы сухого грунта.

Серия № 2: в грунт предварительно вводился цемент 40 кг/м^3 , далее через сутки вводился цемент в объеме 240 кг/м^3 от массы сухого грунта и модифицирующая комплексная добавка *MADOR* в объеме 2,5 % от общей массы цемента.

В результате исследований проведены лабораторные испытания по нормируемым показателям и дополнительным физико-механическим показателям (в различные сроки прочности), определяющим гидрофобные свойства материала. Показатели физико-механических свойств исследуемого образца представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели физико-механических свойств

Наименование показателя	Серия № 1: цемент 240 кг/м^3	Серия № 2: цемент $40+240 \text{ кг/м}^3$, модификатор <i>MADOR</i> — 2,5 %
Прочность при сжатии $R_{сж}$ сухих образцов после 7 суток твердения в нормальных условиях, МПа	8,95	9,58
Прочность при сжатии $R_{сж}$ сухих образцов после 28 суток нормального твердения, МПа	11,17	12,49
Прочность при сжатии $R_{сж}$ образцов после 28 суток нормального твердения и 2 суток в воде, МПа	8,53	8,80
Прочность на растяжение при изгибе после 28 суток нормального твердения и 2 суток в воде, МПа	1,19	1,05
Коэффициент водостойкости после 28 суток нормального твердения	0,76	0,70
Водопоглощение, %, после 28 суток нормального твердения	2,34	2,30
Прочность при сжатии $R_{сж}$ сухих образцов после 56 суток нормального твердения, МПа	12,87	12,16
Прочность при сжатии $R_{сж}$ образцов после 56 суток нормального твердения и 2 суток в воде, МПа	8,66	9,46
Прочность на растяжение при изгибе после 56 суток нормального твердения и 2 суток в воде, МПа	1,06	1,26
Коэффициент водостойкости после 56 суток нормального твердения	0,67	0,78
Водопоглощение, %, после 56 суток нормального твердения	2,73	1,87
Прочность после 10 циклов замораживания и оттаивания, МПа	5,67	6,84
Коэффициент морозостойкости	0,66	0,78

В ходе проведения лабораторных исследований также было установлено, что образцы из 2-й серии, в которые предварительно вводился цемент 40 кг/м^3 , далее через сутки вводился цемент в объеме 240 кг/м^3 от массы сухого грунта и модифицирующая комплексная добавка *MADOR* в объеме 2,5% от общей массы цемента, при попадании на них воды в объеме 25—50 мл обладают гидрофобным эффектом, то есть вода находится на поверхности расколотого образца и не впитывается до 1 минуты.

Результаты испытаний глинистого грунта с числом пластичности 17,96 и содержанием гумуса 12,43 %, предварительно «закрепленного» цементом 40 кг/м^3 и через сутки укрепленного цементом в объеме 240 кг/м^3 и модификатором *MADOR* в объеме 2,5% от общей массы

цемента, показали наилучшие результаты по коэффициенту водостойкости — 0,78, коэффициенту морозостойкости — 0,78, а также наибольшей прочности при сжатии после 10 циклов замораживания и оттаивания — 6,84 МПа.

3. Микроскопические исследования укрепленного цементом гумусированного грунта (чернозема). Метод и методика. После определения физико-механических показателей укрепленного цементом гумусированного глинистого грунта (чернозема) проведены исследования его микроструктуры. Микроструктуру исследуемых образцов и их элементный состав изучали с помощью метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на сканирующем электронном микроскопе марки *Phenom XL* (производитель *Thermo Fisher Scientific*, Нидерланды), оснащенного энергодисперсионным детектором. Съемка проводилась в электронно-оптическом режиме ($U_{\text{уск}} = 15 \text{ кВ}$, $P = 0,10 \text{ Па}$, увеличение $\times 550$ — $\times 30000$). Получение, обработка и анализ изображений осуществлялись с помощью программного комплекса *Phenom User Interface*. Определение элементного состава образцов производили с помощью приложения *Element identification (EID)*.

В качестве образцов использовали сколы композитного материала с укрепленным цементом черноземом. Для каждой системы были выбраны образцы, на каждом из которых произвольно определялись точки, в которых производилась съемка.

Наименование образцов укрепленного гумусированного грунта:

1 серия: Чернозем (Ч) + цемент (Ц);

2 серия: Чернозем (Ч) + цемент (Ц) — 1 сутки выдержки + цемент(Ц) + модификатор *MADOR*.

Рассмотрим результаты исследований первой серии образцов (рис. 3).

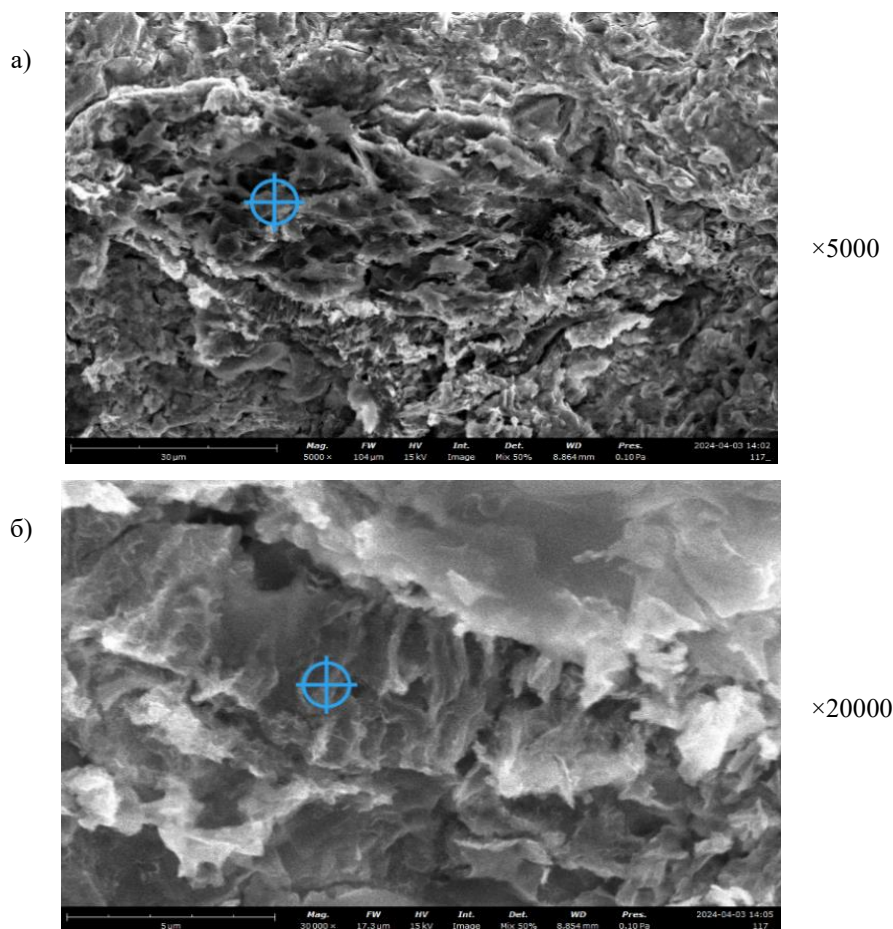


Рис. 3. Микрофотографии образца при увеличении в 5000 (а) и 20000 (б) раз образцов 1-й серии (гумусированный грунт, укрепленный цементом 240 кг/м³)

В точках, указанных на рис. 3, проводился элементный анализ также на микроскопе марки *Phenom XL* при помощи программного комплекса *Phenom User Interface* с режимом: FW: 104 μm , mode: 15 kV - image, detector: микс — 50 %, time: 4/3/24 2:02 pm. Результаты элементного анализа представлены в табл. 3 и на рис. 4.

Таблица 3

Элементный состав образца 1 серии

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	54,448	41,000
8	O	Oxygen	35,886	36,000
13	Al	Aluminum	0,828	1,400
14	Si	Silicon	0,511	0,900
16	S	Sulfur	0,448	0,900
20	Ca	Calcium	7,879	19,800

Результаты микроскопических исследований и элементного анализа образца 1-й серии показали, что его микроструктуру можно охарактеризовать как неоднородную, состоящую из аморфной, гелевидной массы, в которой неравномерно распределены кристаллиты неправильной формы и различного размера. По присутствующим элементам в образце и их процентному содержанию можно сделать вывод, что образец 1-й серии сложен из органических соединений, низкоосновных гидросиликатов силикатов и гидроалюминатов кальция с примесями соединений серы. Структура материала 1-й серии имеет губчатое рыхлое строение (рис. 4а). При увеличении в 20 000 раз (рис. 4б) видно, что присутствуют отдельные стержнеобразные пластинки и плоские угловатые кристаллы, принадлежащие минералу портландиту.

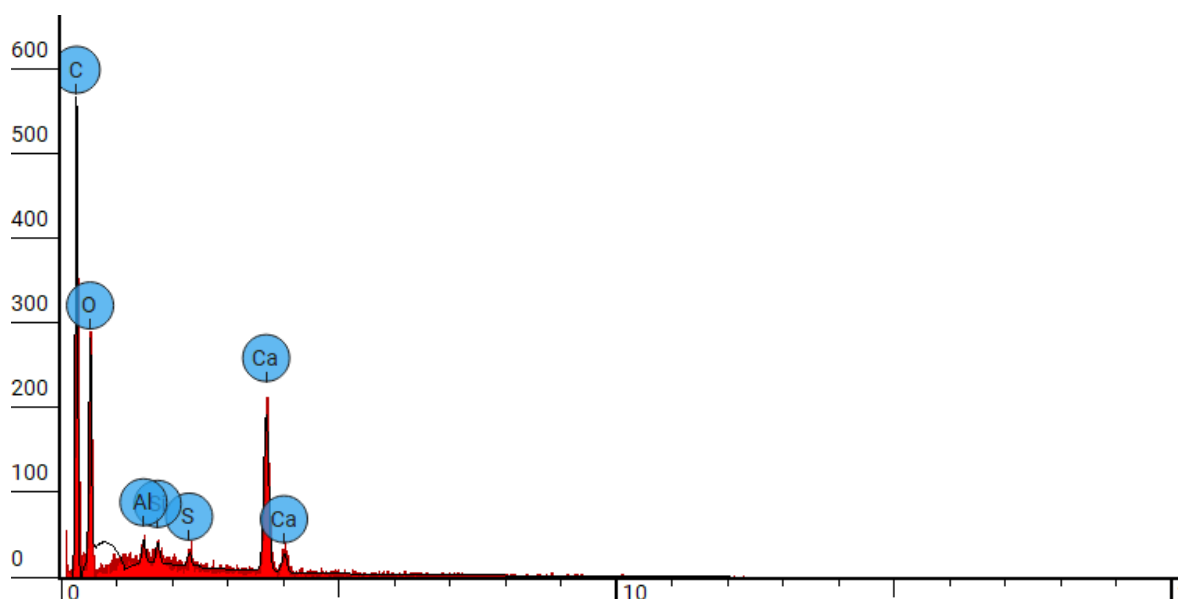


Рис. 4. Данные элементного анализа образца 1-й серии

Результаты микроскопических исследований 2-й серии образцов представлены на рис. 5.

По микрофотографиям видно, что по сравнению со структурой 1-й серии структура образцов 2-й серии имеет ярко выраженную кристаллическую сетку, состоящую из частичек разного размера, плотно сросшихся между собой. Кроме того, имеются крупные друзы — сростки гидроалюмосиликатов кальция с соединениями азота, которые представлены монолитными столбцами высотой более 10 мк с системой капилляров.

Результаты элементного анализа образца 2-й серии представлены в табл. 4 и на рис. 6.

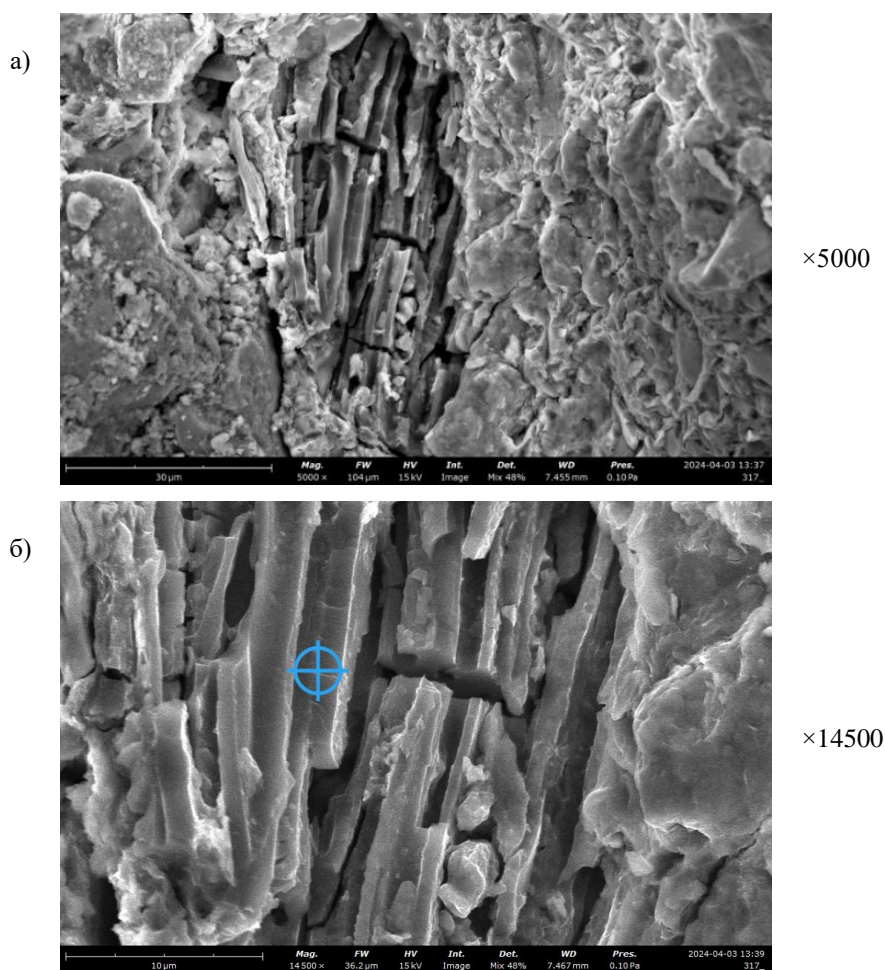


Рис. 5. Образцы 2-й серии (гумусированный грунт, закрепленный цементом 40 кг/м³, далее через сутки укрепленный цементом 240 кг/м³ и модификатором *MADOR* в объеме 2,5 %) при увеличении в 5000 (а) и 14500 (б) раз

Таблица 4

Элементный состав образца 2-й серии

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	14,245	10,000
7	N	Nitrogen	12,333	10,100
8	O	Oxygen	59,129	55,300
13	Al	Aluminum	4,187	6,600
14	Si	Silicon	8,100	13,300
20	Ca	Calcium	2,006	4,700

Результаты микроскопических исследований показывают значительное преобладание кристаллической структуры с монолитными новообразованиями 2-й серии образцов, что подтверждает более высокие прочностные свойства этой серии по сравнению с образцами 1-й серии. Проведённые лабораторные исследования по укреплению гумусированных грунтов цементом по предлагаемой технологии предварительного закрепления, последующей деструкции и укрепления материала цементом и модификатором показали свою эффективность. Данное направление может быть актуально для специальных технических решений, таких как строительство временных и подъездных дорог для объектов капитального строительства, сельскохозяйственных дорог и дорог с низкой интенсивностью движения. Нормы расходов цемента и модификатора по разработанной технологии представлены в табл. 5.

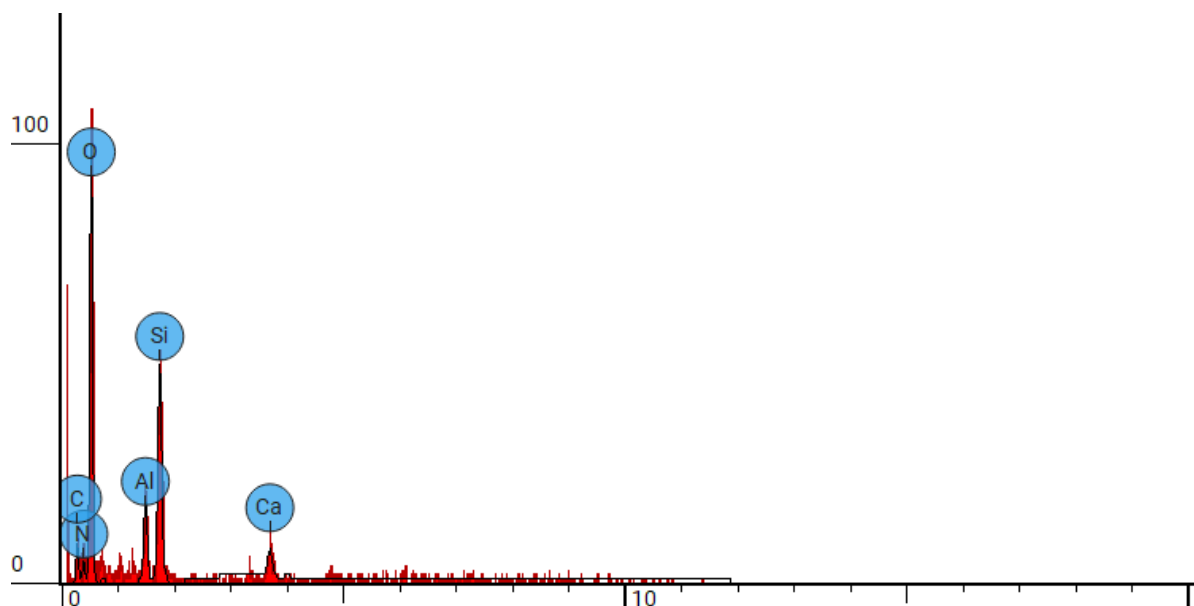


Рис. 6. Данные элементного анализа образца 2-й серии

Таблица 5

Ориентировочный расход цемента и модифицирующей комплексной добавки

Вид укрепляемого материала	Ориентировочный общий расход цемента, % (кг/м ³)	Ориентировочный расход модификатора, % от массы цемента	Марка по прочности по ГОСТ 23558
Грунты с содержанием гумуса не более 4 %	12—20 (130—220)	2,5—3,0	Не менее М 40
Грунты с содержанием гумуса 4—12 %	25—35 (275—385)	2,5—3,0	Не менее М 40

Грунты с содержанием гумуса, превышающим нормируемое значение 4 %, необходимо предварительно «закреплять» ориентировочно 3—5 % цемента.

Описание предлагаемой технологии выполнения работ по укреплению гумусированного грунта цементом и модификатором:

- создание системы водоотвода на участке производства работ;
- профилировка поверхности слоя, который будет укрепляться цементом;
- уплотнение поверхности укрепляемого слоя техникой, позволяющей уплотнить толщину слоя ниже толщины укрепления с целью создания плотного основания под укрепляемым слоем;
- распределение цемента в объеме 3—5 % для «закрепления» слоя гумусированного грунта при его оптимальной влажности и смешение с грунтом;
- подкатка устроенного слоя за 2—4 прохода катка;
- технологический перерыв 24—48 часов;
- распределение цемента и модификатора по слою «закрепленного» слоя гумусированного грунта при оптимальной влажности с последующим перемешиванием (деструкцией) и уплотнением;
- уход за устроенным слоем.

Выводы

1. В ходе проведенных исследований по возможному укреплению гумусированных глинистых грунтов негашеной известью подтверждена возможность ее применения для осушения переувлажненного грунта с улучшением его свойств.

2. Возможность укрепления гумусированных глинистых грунтов требует разработки и совершенствования специальных инженерных приемов, в том числе с применением модифицирующих добавок для улучшения физико-механических характеристик укрепляемых грунтов, которых невозможно добиться за счет применения одного неорганического вяжущего.

3. Разработана технология укрепления гумусированного глинистого грунта с характеристиками, не удовлетворяющими требованиям нормативных документов для укрепления его вяжущими в части содержания гумуса и числа пластичности, заключающаяся в предварительном «закреплении» грунта цементом в объеме 3—5 %, выдержке технологического перерыва в течение суток, его последующей деструкции, введении цемента и комплексной модифицирующей добавки *MADOR*.

4. Полученные данные по микрофотографиям образцов, укрепленных в соответствии с разработанной технологией показывают, что структура образцов имеет ярко выраженную кристаллическую сетку, состоящую из частичек разного размера, плотно сросшихся между собой. Кроме того, имеются крупные друзы — сrostки гидроалюмосиликатов кальция с соединениями азота, которые представлены монолитными столбцами высотой более 10 мк с системой капилляров.

5. Представленные результаты проведенных исследований в части разработки технологии укрепления гумусированного глинистого грунта с характеристиками, не удовлетворяющими требованиям нормативных документов для укрепления его вяжущими в части содержания гумуса и числа пластичности, предполагается использовать для решения специальных технических задач, таких как устройство временных подъездных дорог или дорог для проезда тяжелой техники в период распутицы, в качестве дорожного основания или покрытия или снижения негативного влияния таких грунтов при попадании их в конструктивных слой при выполнении работ по холодному ресайклингу.

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: сб. ст. — 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 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. **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: учебник / 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, В. Л. Нгуен, Д. Ш. 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 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, Chicago. — 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, Sh.** 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. **Cherif, M.** Pozzolanic properties of pulverized coal combustion asch / M. Cherif // Cem. And Concr. — 1999. — Vol. 29, № 9. — P. 1387—1391.

References

1. **Bezruk, V. M.** Fortified soils (properties and application in road and airfield construction) / V. M. Bezruk, I. L. Gurjachkov, T. M. Lukanina. — М.: Transport, 1982. — 231 p.
2. **Vasil'ev, Ju. M.** Demands on the deformation ability of reinforced soil reinforced soil / Ju. M. Vasil'ev // Application in the construction of road clothes with use of industrial wastes as binders and additives chemicals: sb. st. — М., 1981. — P. 145—151.
3. **Velichko, E. G.** Some aspects of physico-chemistry and mechanics of composites component cement systems / E. G. Velichko, Zh. S. Beljakova // Stroitel'nye materialy. — 1997. — № 2. — P. 21—25.
4. **Vernigorova, V. M.** Modern methods of research of properties of building materials / V. M. Vernigorova. — М.: ASV, 2003. — 239 p.
5. **Gorelyshev, N. V.** Technology and organization of construction of roads / N. V. Gorelyshev, S. M. Polosin-Nikitin, M. S. Koganzon. — М.: Transport, 1992. — 551 p.
6. **Kochetkova, R. G.** The Improvement of the properties of clay soil stabilizers / R. G. Kochetkova // Avtomobil'nye dorogi. — 2006. — № 3. — P. 25—28.
7. **Lanko, A. V.** Gidrogenizirovanye loess cementoplasty in road construction / A. V. Lanko // Stroitel'nye materialy. — 2008. — № 4. — P. 27—30.
8. **Matvienko, F. V.** Forecasting the magnitude of irreversible deformation of road structure from the impact of traffic flow / F. V. Matvienko, A. N. Kanishhev, V. N. Mel'kumov, V. V. Volkov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arhitektura. — 2010. — № 3 (19). — P. 81—92.
9. **Nikerov, N. S.** The pavement of public roads. Part 2. Designing and calculation / N. S. Nikerov. — SPb.: Peterburgskij gos. un-t putej soobshhenija, 2001. — 84 p.
10. **Petkjavichus, K.** Possible use of non-metallic local materials for construction and repair of roads and Railways / K. Petkjavichus, I. Podagelis, A. Laurinavichus // Stroitel'nye materialy. — 2006. — № 3. — P. 32—35.
11. **Pichugin, A. P.** Deformation processes in the fortified soils / A. P. Pichugin, V. A. Grishina, I. K. Jazikov // Jekologija i novye tehnologii v stroitel'nom materialovedenii: mezhdunar. sb. nauch. tr. — Novosibirsk, 2010. — P. 74—75.
12. **Pichugin, A. P.** Physical-chemical processes in soils fortified / A. P. Pichugin, V. A. Grishina, I. K. Jazikov // Stroitel'nye materialy. — 2009. — № 12. — P. 41—43.
13. **Podol'skij, Vl. P.** Road Construction / Vl. P. Podol'skij [et al.] // Subgrade / Ed. by Vl. P. Podol'skogo. — М.: IC «Академия», 2013. — 304 p.
14. **Podol'skij, Vl. P.** Optimization of volume of extraction of stone materials and transport schemes to delivery to the consumer / Vl. P. Podol'skij, V. V. Gasilov // Stroitel'nye materialy. — 1992. — № 11. — P. 41—44.
15. **Podol'skij, Vl. P.** About the possibility of expanding the resource base of road construction by stabilizing and strengthening soil / Vl. P. Podol'skij, V. L. Nguen, D. Sh. Nguen // Nauchnyj Vestnik Voronezhskogo GASU. — 2014. — № 1. — P. 102—111.
16. **Fursov, S. G.** The Effect of the modifier «DorCem DS-1» / S. G. Fursov [et al.] // Avtomobil'nye dorogi. — 2011. — № 5. — P. 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, Chicago. — 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, Sh.** 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. Cheriaf // Cem. And Concr. — 1999. — Vol. 29, № 9. — P. 1387—1391.

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR THE DEVICE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF ROAD SURFACING MADE OF HUMUS SOILS USING THE «MADOR» MODIFIER

F. V. Matvienko ¹, O. B. Kukina ², A. S. Strokin ³, I. V. Konstantinova ⁴

Voronezh State Technical University ^{1, 2, 3}
Russia, Voronezh
JSC "BAMTONNELSTROY-MOST" ⁴
Russia, Grozny

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 *Lead Engineer, e-mail: miroslava36@mail.ru*

Statement of the problem. When performing road repair works using the technology of cold recycling, when installing foundations from reinforced soils or inert materials, in some cases there is a problem of getting humus clay soils into the structural layer of the pavement. Also, when solving special technical problems, such as the construction of temporary roads, the construction of roads for the passage of agricultural machinery during the spring thaw, there is a need to strengthen humus clay soils to ensure the movement of vehicles along the arranged layer. This circumstance led to the need to develop a technology for the device of a coating layer or a base made of humus soil using various inorganic binders, including in combination with the additive "MADOR", necessary to improve the physical and mechanical characteristics of the structural layers of pavement made of cement-reinforced materials.

Results. The technology of work on the construction of a layer of pavement using humus clay soils is presented. The review of the results of physical and mechanical as well as physical and chemical studies of the effect of the modifier "MADOR" on the structure of clay humus soil reinforced with cement used for the construction of structural layers of pavement is presented. The results of studies of the structure of the grunt reinforced with cement together with the modifier "MADOR" are presented.

Conclusions. The possibility of using the developed technology has been established and the positive effect of using the "MADOR" modifier to strengthen the humus clay soil has been predicted.

Keywords: highways, soil reinforcement, cement, "MADOR" modifier, study of the microstructure of materials.