

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

УДК 625.859

DOI 10.36622/2541-7592.2025.79.3.008

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА УКРЕПЛЕННЫХ ЦЕМЕНТОМ И БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИЕЙ ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ПРИМЕНЕНИЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ MADOR

Ф. В. Матвиенко<sup>1</sup>, Н. И. Паневин<sup>2</sup>, О. Б. Кукина<sup>3</sup>, Г. С. Копняев<sup>4</sup>*Воронежский государственный технический университет*<sup>1,3</sup>*Россия, г. Воронеж**ООО «Автодорис»*<sup>2,4</sup>*Россия, г. Воронеж*

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

<sup>2</sup> Канд. техн. наук, доц., директор, e-mail: panevinn@mail.ru

<sup>3</sup> Канд. техн. наук, доц. кафедры химии и химических технологий материалов, e-mail: okukina@cchgeu.ru

<sup>4</sup> Ведущий инженер-лаборант, e-mail: gor\_light@mail.ru

**Постановка задачи.** В нормативных требованиях РФ не определены четкие требования к применению химических добавок при совместном использовании в качестве вяжущего цемента и битумной эмульсии для устройства дорожных оснований из органоминеральных смесей или укрепленных грунтов. Это привело к необходимости обоснования возможности применения отечественной добавки MADOR для выполнения данного вида работ с целью улучшения физико-механических и структурных характеристик устраиваемого основания дорожной одежды.

**Результаты.** Приведен обзор результатов исследований влияния добавки MADOR на свойства органоминеральных смесей и грунтов, содержащих неорганическое вяжущее (цемент) и органическое вяжущее (битумную эмульсию). Представлены результаты исследований структуры укрепленного цементом и битумной эмульсией песчаного грунта. На основе проведенных исследований даны рекомендации по совершенствованию технологии устройства дорожных укрепленных оснований на основе цемента и битумной эмульсии.

**Выводы.** Установлена возможность совершенствования технологии устройства оснований дорожных одежд, укрепленных цементом и битумной эмульсией, с применением химической добавки MADOR как препарата, влияющего на долговечность устраиваемого конструктива.

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, укрепление грунтов и материалов, органоминеральная смесь, цемент, битумная эмульсия, добавка MADOR, исследование микроструктуры материалов.

**Введение.** На сегодняшний день в РФ действует ряд нормативных документов, определяющих требования к устройству конструктивных слоев дорожных одежд, в которых в качестве вяжущего применяется цемент совместно с битумной эмульсией. Действующие нормативные требования определяют вариативность проведения лабораторного подбора материалов и испытаний физико-механических характеристик, а также технологии выполнения дорожных работ по устройству конструктивного элемента покрытия или основания [1, 5, 6, 9, 10, 13—

15]. Важнейшей научной и инженерной задачей при выполнении данного вида дорожных работ является достижение максимальной долговечности устраиваемых конструктивов при минимальных дополнительных денежных тратах. Одним из возможных решений повышения физико-механических характеристик [4] и, как следствие, долговечности конструктивных слоев дорожных одежд [2, 3, 7, 11, 12], устраиваемых с применением цемента и битумной эмульсии, является использование химических добавок [8, 16—20]. Для подтверждения данного положения в лабораторных условиях проведен ряд исследований. Для укрепления взяты органоминеральная смесь и песчаный грунт, в качестве вяжущего выступают цемент и битумная эмульсия, а также химическая добавка *MADOR* по СТО 16308651-001-2022.

**1. Модификация свойств органоминеральных смесей.** Для проведения лабораторных исследований укрепленных органоминеральных смесей, модифицированных добавкой, взяты органоминеральные смеси следующего состава:

– состав № 1: щебень фр. 8—11,2 мм АО «Щебеночный завод «Турдейский» — 25 %; щебень фр. 4—8 мм АО «Щебеночный завод «Турдейский» — 10 %; песок из отсевов дробления щебня АО «Щебеночный завод «Турдейский» фр. 0—4 мм — 35 %; асфальтобетонный гранулят фр. <22,4 мм — 30 %; портландцемент ЦЕМ I 42,5Н АО «ЦЕМРОС» — 4 % от массы минеральной части; вода — 3,5 % от массы минеральной части; эмульсия битумная дорожная катионная медленнораспадающаяся — 4 %;

– состав № 2: то же + добавка *MADOR* — 3 % от массы цемента.

Лабораторные исследования составов органоминеральных смесей без добавки и с добавкой проводились в соответствии с требованиями ГОСТ Р 70197.1-2022 и ГОСТ Р 70197.2-2022. Образцы испытывались после семи суток нормального твердения и последующего высушивания до постоянной массы. Физико-механические показатели испытанных проб приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические показатели испытанных проб органоминеральных смесей

Наименование показателя	Проба № 1 ( <i>MADOR</i> — 0 %)	Проба № 2 ( <i>MADOR</i> — 3 %)	Изменение показателей пробы № 2 относительно пробы № 1	Требования ГОСТ Р 70197.1-2022
Совместимость битумной эмульсии и заполнителей органоминеральной смеси	Совместима	Совместима	—	Обеспечение совместимости
Предел прочности при непрямом растяжении при температуре 22 °С, кПа	511,44	447,01	–13 %	Не менее 300
Предел прочности при непрямом растяжении при температуре 40 °С, кПа	283,36	358,26	+26 %	Не менее 200
Предел прочности при непрямом растяжении при температуре 22 °С, I группа водостойкости, кПа	670,98	669,06	0 %	Не нормируется
Предел прочности при непрямом растяжении при температуре 22 °С, II группа водостойкости, кПа	582,96	588,61	+1 %	Не нормируется
Коэффициент водостойкости	0,9	0,9	0 %	Не менее 0,7
Объемная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,22	2,21	–0,01	Не нормируется

Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о положительном влиянии добавки на увеличение физико-механических показателей органоминеральных смесей с использованием вторичного асфальтобетона по показателям прочности при температуре 40 °С на

26 %, при этом модификатор снижает на 13 % предел прочности при непрямом растяжении при температуре 22 °С, но полученное значение в 441 кПа значительно превышает минимально требуемое нормативное в 300 кПа.

**2. Модификация свойств песчаного грунта, укрепленного цементом в комплексе с битумной эмульсией.** Для проведения лабораторных исследований песчаного грунта, укрепленного цементом в комплексе с битумной эмульсией, взяты следующие составы:

– проба № 1. Песок мелкий, укрепленный цементом: песок мелкий — 84,27 %; цемент АО «Серебряковцемент» ЦЕМ 0 42,5 Н — 6 %; вода — 9,73 %;

– проба № 2. Песок мелкий, укрепленный цементом и эмульсией битумной дорожной анионной медленнораспадающейся: песок мелкий — 81,86 %; цемент АО «Серебряковцемент» ЦЕМ 0 42,5 Н — 6 %; вода — 8,14 %; ЭБДАМ — 4 %;

– проба № 3. Песок мелкий, укрепленный цементом, эмульсией битумной дорожной анионной медленнораспадающейся и модифицирующей добавкой *MADOR*: песок мелкий — 81,68 %; цемент АО «Серебряковцемент» ЦЕМ 0 42,5 Н — 6 %; вода — 8,14; ЭБДАМ — 4 %; добавка *MADOR* — 0,18 % (3 % от массы цемента).

Лабораторные исследования составов проводились в соответствии с требованиями ГОСТ Р 70452-2022 и ГОСТ 12801-98. Образцы испытаны после 7 суток нормального твердения, после 28 суток нормального твердения и после 10 циклов замораживания — оттаивания. Физико-механические показатели испытанных проб приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические показатели испытанных проб

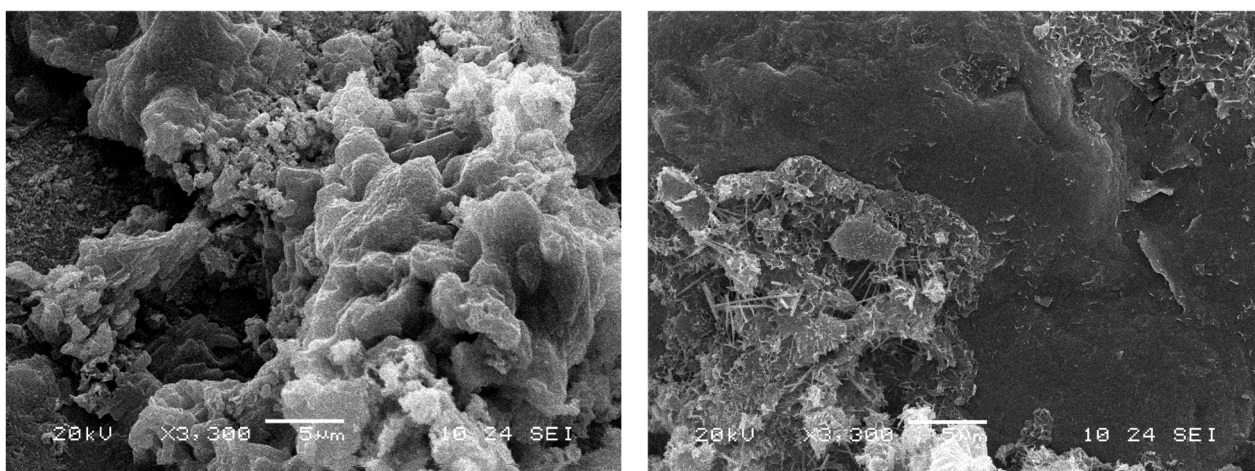
Наименование показателя	Проба № 1 (песок мелкий, цемент — 6 %, вода)	Проба № 2 (песок, цемент — 6 %, ЭБДАМ — 4 %, вода)	Проба № 3 (песок, цемент — 6 %, вода — 8,14 %, ЭБДАМ — 4 %, <i>MADOR</i> — 3 % от массы цемента)	Изменение показателей пробы № 3 относительно пробы № 2	Требования ГОСТ Р 70452-2022
Прочность на сжатие $R_{сж}$ сухих образцов после 7 суток нормального твердения, МПа	1,83	2,01	2,27	+12,94 %	Не менее 50 % нормируемого значения прочности в проектном возрасте
Прочность на сжатие $R_{сж}$ образцов после 28 суток твердения в нормальных условиях и 3 суток в воде, МПа	2,08	2,30	2,79	+21,30 %	Не менее 2,0 МПа в проектном сроке набора прочности (28 суток)
Прочность на растяжение при раскалывании $R_p$ после 28 суток нормального твердения и 3 суток в воде, МПа	0,30	0,39	0,52	+33,33 %	Не менее 0,3 МПа в проектном сроке набора прочности (28 суток)
Прочность на сжатие $R_{сж\ мрз}$ образцов, подвергавшихся 10 циклам замораживания — оттаивания, МПа	1,47	1,94	2,32	+19,59 %	Не нормируется
Коэффициент морозостойкости $K_{мрз}$	0,71	0,84	0,83	0,00 %	Не менее 0,8

Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о положительном влиянии добавки *MADOR* на физико-механические показатели укрепленных цементом грунтов в комплексе с эмульсией битумной дорожной анионной медленнораспадающейся по следующим показателям: увеличение прочности при сжатии после 7 суток нормального твердения на 13 %;

увеличение прочности при сжатии и прочности растяжения при раскалывании водонасыщенных образцов после 28 суток нормального твердения на 21 и 33 % соответственно; увеличение прочности при сжатии образцов, подвергавшихся 10 циклам замораживания — оттаивания, на 20 %.

**3. Исследование микроструктуры песчаного грунта, укрепленного цементом в комплексе с битумной эмульсией.** Исследование микроструктуры укрепленного песчаного грунта 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. При пробоподготовке были изготовлены свежие изломы (сколы) структур. Плоские фрагменты сколов размером 5—10 мм закреплялись на держателях образцов с помощью двусторонней липкой электропроводящей ленты. Для устранения электрической зарядки, а также с целью предотвращения термического и радиационного повреждения образцов электронным зондом в ходе исследования на образцы наносилось проводящее покрытие из золота толщиной 10—20 нм. Методом нанесения металлической пленки являлось распыление мишени золота в тлеющем разряде в среде аргона при постоянном напряжении (ионно-плазменное напыление). Процесс проводился в напылительной установке *Q150R ES*. Подготовленные таким способом образцы на держателях размещались на гониометрическом столике в рабочей камере РЭМ и после вакуумирования камеры подвергались обследованию.

На рис. 1 представлена микрофотография исследуемого образца 1-й пробы — песчаного грунта, укрепленного цементом, и образца 2-й пробы — песчаного грунта, укрепленного цементом и битумной эмульсией.



**Рис. 1.** Микрофотография исследуемых образцов:  
слева — 1-й пробы (песок — цемент — вода); справа — 2-й пробы (песок — цемент — ЭБДАМ — вода)

Для системы «песок — цемент — вода» характерно формирование преимущественно аморфно-кристаллической структуры из рыхлого тоберморитоподобного геля и плоских призм-шестигранников кристаллов портландита, которые формируют структуру в виде сростков с контактами примыкания и срастания.

Для системы «песок — цемент — ЭБДАМ — вода» характерно, что на поверхности зерен песка формируется цементный камень с преимущественно кристаллической структурой, сложенной из сростков кристаллов портландита, игольчатых кристаллов различной длины до 5—10 мкм (стеблевидные кристаллы таумасита гексагонального сечения), равномерно проросших между пластинчатыми сростками портландита. Также возможны образования гидроалюминатов кальция с последующим их переходом в этtringит:



На рис. 2 представлена микрофотография исследуемого образца 3-й пробы — песчаного грунта, укрепленного цементом в комплексе с битумной эмульсией и добавкой *MADOR*.

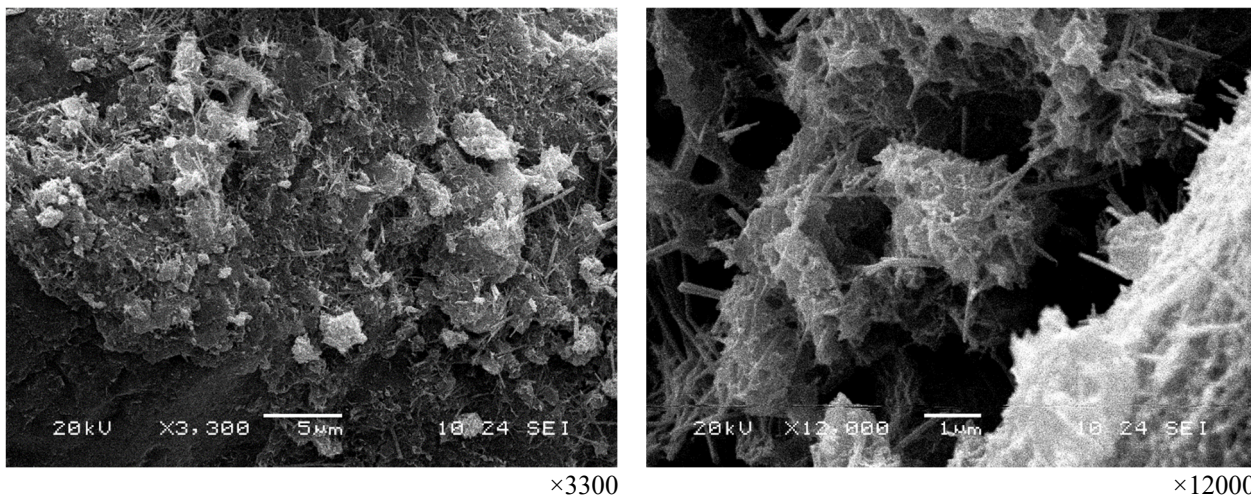
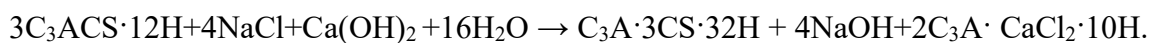
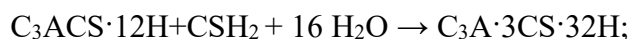
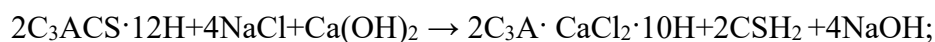


Рис. 2. Микрофотографии исследуемого образца 3-й пробы (песок — цемент — ЭБДАМ — добавка *MADOR* — вода)

В системе «песок — цемент — ЭБДАМ — добавка *MADOR* — вода» происходит формирование достаточно плотной структуры с большим числом контактов срастания и прорастания между кристаллитами. Наблюдается равномерное распределение глобуловидных плотных сростков-друз из гидросиликатов, гидроалюминатов, гидрокарбоалюминатов, гидроферритов щелочных и щелочноземельных металлов, сформированных в результате комплексного действия ЭБДАМ и добавки *MADOR*.

Ионы щелочных и щелочноземельных металлов, содержащиеся в хлоридах добавки, а также в солях карбоновых кислот, преобразуют гидросульфалюминаты кальция (фазы  $AF_m$ ):



Проведенные исследования физико-механических и структурных характеристик песчаного грунта, укрепленного цементом в комплексе с битумной эмульсией с добавкой *MADOR*, подтвердили улучшение структурных и повышение физико-механических характеристик устраиваемых оснований дорожных одежд.

**4. Способы совершенствования технологии устройства укрепленных цементом оснований в комплексе с битумной эмульсией.** Разработка способов совершенствования технологии устройства укрепленных цементом оснований в комплексе с битумной эмульсией в своей основе требует четкой реализации стандартных инженерных задач с последующим развитием и внедрением инновации на каждом технологическом этапе производства «подбор состава — выпуск смеси — устройство конструктива — контроль качества и приемка работ».

На первом этапе проработки вопроса о применении укрепленной органоминеральной смеси или грунта необходимо выполнить подбор состава смеси в лабораторных условиях:

- по проектно-сметной документации необходимо определить тип органоминеральной смеси или вид грунта и требования к вяжущему;

- определить источники получения компонентов для приготовления смеси;
- выполнить подбор состава минеральной части органоминеральной смеси или характеристик укрепляемого грунта, обеспечивая его соответствие нормативным требованиям;
- для определения возможности повышения качественных показателей смесей или укрепляемого грунта проработать вопрос о применении химических добавок путем подготовки дополнительной серии образцов;
- рассмотреть возможность определения структурных свойств получаемых смесей или укрепляемых грунтов дополнительными физико-химическими методами исследований для обоснования необходимости применения химических добавок.

При выпуске смеси или укрепляемого грунта необходимо осуществлять контроль температуры битумной эмульсии и количества вяжущих материалов; при определении объема подаваемой в смеситель воды следует учитывать фактическую влажность используемых минеральных материалов и переработанного асфальтобетона. Подходом к совершенствованию технологии выпуска смеси могут быть: определение фактического значения водородного показателя pH, выбор вида и характеристик используемой битумной эмульсии с учетом этого значения, а также использование добавок, позволяющих получить оптимальные свойства выпускаемого материала.

При укладке смеси или укрепляемого грунта необходимо выполнять устройство конструктивного слоя из смесей или грунтов в сухую погоду при температуре окружающего воздуха не ниже 10 °С; толщина укладываемого слоя смеси должна быть не менее 2,5-кратного номинального максимального размера минерального заполнителя; укладка и уплотнение смеси должны быть закончены не позднее 4 ч с момента ее выпуска; поверхность слоя из смеси на комплексном вяжущем после уплотнения наносят пленкообразующий материал, в качестве которого допускается использовать битумные эмульсии; поверхность верхнего слоя покрытия из холодных органоминеральных смесей необходимо устраивать защитный слой из асфальтобетона.

Сроки открытия движения и устройства вышележащих слоев после устройства конструктивных слоев, укрепленных вяжущими, в разных нормативных документах различны, а на практике этот вопрос решается исходя в том числе из опыта конкретного подрядчика. Общим правилом, которое обеспечит долговечность устраиваемого конструктива, является то, что устройство конструктивных слоев поверх слоев из смесей или грунтов, содержащих цемент и битумную эмульсию, осуществляют до окончания схватывания используемого минерального вяжущего либо после набора требуемой прочности. Время набора минимально необходимой прочности определяют на стадии подбора составов путем изготовления дополнительных серий лабораторных образцов, а в случае проведения экспериментальных исследований необходимо рассмотреть возможность исследования структуры материала физико-химическими методами в разные сроки набора прочности образцов смеси. Подходом к совершенствованию технологии устройства из смеси может быть регулирование времени набора минимальной прочности материала, достаточной для открытия движения по уложенному конструктивному слою.

На этапе приемо-сдаточных испытаний смесей определяют влажность смеси, зерновой состав смеси и количество использованной битумной эмульсии, водонасыщение и объемную плотность.

При периодическом контроле качества смесей определяют водостойкость, предел прочности при непрямом растяжении, проводят испытания дополнительных показателей в случае необходимости.

При периодическом контроле укрепленных грунтов определяют: прочность на растяжение при раскалывании — не менее одного раза в 30 дней, а также при подборе каждого нового состава; коэффициент морозостойкости — не менее одного раза в 90 дней, а также при подборе каждого нового состава. При приемочном контроле укрепленных грунтов определяют прочность на сжатие с каждой партией. Партией считают количество укрепленного грунта в неуплотненном состоянии, изготовленное по единой рецептуре в течение суток на одной

смесительной установке или полученное смешением в слое, но не более 3000 м<sup>3</sup>. Приемку слоя из укрепленного грунта осуществляют по коэффициенту уплотнения. Его значение должно составлять не менее 0,98.

Допускается проводить приемку слоя из укрепленного грунта по значению предела прочности на сжатие отобранных кернов в проектные или промежуточные сроки. Значение предела прочности на сжатие отобранных кернов должно быть не более чем на 5 % ниже требуемых в проектной документации.

Подходом к совершенствованию контроля качества из смеси может быть регламентирование однородности выпускаемой и используемой смеси по показателю однородности предела прочности при непрямом растяжении, а для укрепленных грунтов регламентирование однородности по показателю однородности предела прочности при сжатии.

**Выводы.** В ходе проведенного исследования установлено, что применение химической добавки *MADOR* положительно влияет на улучшение физико-механических показателей органоминеральной смеси с применением вторичного асфальтобетона, укрепленного цементом совместно с битумной эмульсией, а также укрепленного цементом и битумной эмульсией песчаного грунта.

Проведенные физико-химические исследования по определению влияния химической добавки *MADOR* на укрепленный цементом и битумной эмульсией песчаный грунт подтвердили повышение физико-механических показателей через улучшение структурных свойств ввиду того, что в системе «песок — цемент — битумная эмульсия — модификатор — вода» происходит формирование более плотной структуры с большим числом контактов срастания и прорастания между кристаллитами, при этом в системе имеются в наличии глобуловидные плотные сростки-друзы из гидросиликатов, гидроалюминатов, гидрокарбоалюминатов, гидроферритов щелочных и щелочноземельных металлов.

Таким образом, проведенные физико-механическими и физико-химическими методами исследования показали, что применение химической добавки *MADOR* в органоминеральных холодных смесях (с использованием вторичного асфальтобетона, цемента и битумной эмульсии) и песчаных грунтах, укрепленных цементом в комплексе с битумной эмульсией, позволит улучшить структуру, физико-механические показатели и, как следствие, срок службы конструктивных слоев дорожных одежд, устраиваемых с его использованием.

Также необходимо отметить, что для получения достоверной информации о свойствах материалов, укрепляемых вяжущими, в целях определения их долговечности и прогнозирования сроков службы необходимо внедрение в дорожную практику методов и способов определения физико-химических свойств, таких как химическая активность (химический потенциал) по отношению к эксплуатируемой среде. Данные подходы к совершенствованию технологии укрепления материалов вяжущими в части применения химических добавок и внедрения методов определения химической активности укрепленных материалов по отношению к эксплуатируемой среде позволят повысить долговечность и срок службы дорожных одежд.

#### 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.** Исследование влияния модификатора Madog на показатели прочности и водостойкости укрепленных цементом дискретных минеральных материалов для дорожного строительства / Ф. В. Матвиенко, А. С. Строкин, Е. Б. Тюков, В. С. Шапаускас // Научный журнал строительства и архитектуры. — 2024. — № 2 (74). — С. 97—106.
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. **Brendel, G.** Tackling Indias coal ash problem / Gary Brendel // Mining Eng. — 1999. — Vol. 51, № 10. — P. 44—45.
17. **Cheriaf, M.** Pozzolanic properties of pulverized coal combustion asch / M. Cheriaf // Cem. And Concr. — 1999. — Vol. 29, № 9. — P. 1387—1391.
18. **Horiuchi, S.** Effective use of fly ash slurry as file material / Sumio Horiuchi, Masato Ka-waguchi, Kazuya Yasuhara // J. Hazardous Mater. — 2000. — Vol. 76, № 2—3. — P. 301—337.
19. **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
20. **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.

#### 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.** Gidrogenizirovannye loess cementoplasty in road construction / A. V. Lanko // Stroitel'nye materialy. — 2008. — № 4. — P. 27—30.
8. **Matvienko, F. V.** 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, A. C. Strokin, E. B. Tyukov, V. S. Shapauskas // Nauchnyi zhurnal stroitel'stva i arkhitektury. — 2024. — № 2 (74). — P. 97—106.
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, V. P.** Road Construction / V. P. Podol'skij [et al.] // *Subgrade* / Ed. by V. P. Podol'skogo. — M.: IC «Akademija», 2013. — 304 p.
14. **Podol'skij, V. P.** Optimization of volume of extraction of stone materials and transport schemes to delivery to the consumer / V. P. Podol'skij, V. V. Gasilov // *Stroitel'nye materialy.* — 1992. — № 11. — P. 41—44.
15. **Podol'skij, V. P.** About the possibility of expanding the resource base of road construction by stabilizing and strengthening soil / V. P. Podol'skij, V. L. Nguen, D. Sh. Nguen // *Nauchnyj Vestnik Voronezhskogo GASU.* — 2014. — № 1. — P. 102—111.
16. **Brendel, G.** Tackling Indias coal ash problem / Gary Brendel // *Mining Eng.* — 1999. — Vol. 51, № 10. — P. 44—45.
17. **Cherif, M.** Pozzolanic properties of pulverized coal combustion asch / M. Cherif // *Cem. And Concr.* — 1999. — Vol. 29, № 9. — P. 1387—1391.
18. **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.
19. **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
20. **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.

## IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR THE INSTALLATION OF CEMENT AND BITUMEN EMULSION REINFORCED PAVEMENT BASES USING THE CHEMICAL ADDITIVE MADOR

F. V. Matvienko <sup>1</sup>, N. I. Panevin <sup>2</sup>, O. B. Kukina <sup>3</sup>, G. S. Kopnyaev <sup>4</sup>

*Voronezh State Technical University* <sup>1,3</sup>  
*Russia, Voronezh*  
*Avtodoris LLC* <sup>2,4</sup>  
*Russia, Voronezh*

---

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

<sup>2</sup> *PhD in Engineering, Assoc. Prof., Director, e-mail: panevinn@mail.ru*

<sup>3</sup> *PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Chemistry and Chemical Technologies of Materials, e-mail: okukina@cchgeu.ru*

<sup>4</sup> *Leading Laboratory Engineer, e-mail: gor\_light@mail.ru*

---

**Statement of the problem.** The regulatory requirements of the Russian Federation do not define clear requirements for the use of chemical additives when combined as a binder cement and bitumen emulsion, for the construction of road foundations from organic mineral mixtures or reinforced soils. This led to the need to substantiate the possibility of using the domestic additive MADOR to perform this type of work, in order to improve the physical and mechanical as well as structural characteristics of the road surface foundation.

**Results.** An overview of the results of studies of the effect of the MADOR additive on the properties of organic and mineral mixtures and soils containing an inorganic binder — cement and an organic binder — bitumen emulsion is given. The results of studies of the structure of sandy soil reinforced with cement and bitumen emulsion are presented. Based on the research, recommendations are provided for improving the technology of installing reinforced road foundations based on cement and bitumen emulsion.

**Conclusions.** The possibility of improving the technology of installing the foundations of road clothes reinforced with cement and bitumen emulsion using the chemical additive MADOR as a drug that affects the durability of the structure being constructed has been established.

**Keywords:** highways, strengthening of soils and materials, organic and mineral mixture, cement, bitumen emulsion, additive MADOR, study of the microstructure of materials.