

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования

«Воронежский государственный технический университет»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет (НИУ МГСУ)»

Публично-правовая компания «Российский экологический оператор»

Общероссийская общественная организация по охране и защите природных ресурсов  
«Российское экологическое общество»

Совет по экологическому строительству

**УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА  
И ПОТРЕБЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕХОДА  
К ЭКОНОМИКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА**

Сборник статей  
по материалам общероссийской научно-практической конференции  
с международным участием

(г. Воронеж, 01-02 ноября 2023 г.)

Воронеж 2024

УДК 658.567.1(06)  
ББК 38.941.4я4  
У67

**Управление отходами производства и потребления в процессе перехода к**  
У67 **экономике замкнутого цикла:** сборник статей по материалам общероссийской научно-практической конференции с международным участием [Электронный ресурс] / отв. ред. А. В. Башкиров. – Электрон. текстовые и граф. данные (3,3 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2024. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM): цв. – Систем. требования: ПК 500 и выше; 256 Мб ОЗУ; Windows 10; SVGA с разрешением 1024x768; Adobe Acrobat; CD-ROM дисковод; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-7731-1176-4

В сборник включены материалы Общероссийской научно-практической конференции с международным участием, в которых нашли отражение нормативно-организационные и научно-технические вопросы обращения с отходами при переходе к экономике замкнутого цикла.

Материалы сборника соответствуют содержанию концепции циклической экономики, приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации.

**УДК 658.567.1(06)**  
**ББК 38.941.4я4**

***Редакционная коллегия:***

- Башкиров А. В. – д-р техн. наук, доц., проректор по науке и инновациям – ответственный редактор, Воронежский государственный технический университет;
- Кадурин В. В. – канд. пед. наук, доц., проректор по проектам и спортивно-оздоровительной работе, Воронежский государственный технический университет;
- Куприенко П. С. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой техносферной и пожарной безопасности, Воронежский государственный технический университет;
- Панфилов Д. В. – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой строительных конструкций, основания и фундаментов им. проф. Ю.М. Борисова, Воронежский государственный технический университет;
- Ульянов В. А. – канд. филос. наук, руководитель проектного офиса, Воронежский государственный технический университет;
- Расторгуева М. Б. – канд. филол. наук, доц., директор центра публикационной активности, Воронежский государственный технический университет;
- Золотухин С. Н. – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных конструкций, основания и фундаментов им. проф. Ю.М. Борисова, Воронежский государственный технический университет;
- Помогалов В. А. – ведущий специалист проектного офиса, Воронежский государственный технический университет;
- Ашихмина Т. В. – канд. геогр. наук, доц. кафедры техносферной и пожарной безопасности – ответственный секретарь, Воронежский государственный технический университет

Рецензенты: В. И. Теличенко, д-р техн. наук, проф., академик РААСН, советник при ректорате НИУ «МГСУ»;  
Н. М. Зайченко, д-р техн. наук, проф., ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

ISBN 978-5-7731-1176-4

© ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный технический  
университет», 2024

## ПРЕДИСЛОВИЕ

«Экономика замкнутого цикла» — одна из 42 стратегических инициатив Правительства России, масштабная, межотраслевая задача. Переход на ЭЗЦ призван решить фундаментальные задачи в сфере обращения с отходами. Сегодня принципы экономики замкнутого цикла занимают ведущее место в глобальной мировой повестке. Переход к экономике замкнутого цикла возможен только при объединении усилий бизнеса, населения, активистов и всех уровней государственной власти, а также внедрении инновационных подходов и изменении отношения к потреблению ресурсов.

### Цели Конференции:

- оказание экспертно-методического и научного содействия российским регионам в переходе на новую систему обращения с отходами при реализации федеральной программы «Экономика замкнутого цикла»;
- рекомендовать к применению научно-практические разработки ВГТУ в сфере строительных технологий замкнутого цикла и обращения с отходами;
- создание на базе ВГТУ опорной площадки для подготовки специалистов отрасли обращения с отходами на основе реализуемых в университете образовательных программ бакалавриата и магистратуры ФГОС 20.03.01, 20.04.01 «Техносферная безопасность».

### Тематика конференции затрагивала следующие вопросы:

- обращение с отходами производства и потребления в процессе перехода к экономике замкнутого цикла;
- стратегические направления подготовки специалистов по обращению с отходами производства и потребления в условиях экономики замкнутого цикла;
- строительные технологии замкнутого цикла, способствующие исключению строительных отходов. Бизнес-практика;
- рециклинг материалов для дорожного строительства;
- использование вторичных строительных материалов в дорожном строительстве, с учётом фактической ситуации в ЛНР, ДНР, Херсонской и Запорожской областях;
- IT-решения в сфере строительных технологий замкнутого цикла;
- водоснабжение и водоотведение в экономике замкнутого цикла;
- взаимодействие бизнеса и власти - региональная практика.

## УКРЕПЛЕННЫЕ ЦЕМЕНТОМ ОСНОВАНИЯ АВТОДОРОГ С МАТЕРИАЛАМИ ОТ СНОСА ЗДАНИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ДОБАВКОЙ «MADOR»

**Ф.В. Матвиенко, В.А. Ульянов**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,  
г. Воронеж  
e-mail: fmatvienko@yandex.ru

**Аннотация.** В настоящее время в нормативно-технической документации Российской Федерации недостаточным образом проработан вопрос о возможности применения отходов от сноса зданий и сооружений для строительства оснований дорожных одежд из укрепленных цементом материалов. Не в полной мере отражены вопросы применения техногенных материалов в виде боя естественных каменных материалов, бетона и кирпича при выполнении дорожно-строительных работ. Проведение исследований и разработка инженерных решений по оценке использования вышеуказанных материалов в дорожном строительстве позволит расширить номенклатуру строительных материалов и уменьшить техногенную нагрузку человека на окружающую среду.

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, укрепление грунтов, материал от сноса зданий, цемент, модификатор «MADOR», прочность.

В настоящее время в дорожной отрасли РФ не достаточным образом закреплен вопрос применения отходов от сноса зданий, в качестве техногенного грунта, для строительства оснований дорожных одежд из укрепленных цементом материалов [1-14]. Фактически под категорию техногенный грунт попадает огромный спектр повторно используемых строительных материалов, применение которых возможно, но при этом должным образом не отражена их четкая классификация с физико-механическими характеристиками и областью применения, а также отсутствуют поправки на технологию производства конкретных видов дорожных работ. Одним из экономически обоснованных инженерных решений по применению отходов от сноса зданий для строительства оснований дорожных одежд является технология холодного ресайклинга с применением в качестве вяжущего цемента.

Технология холодного ресайклинга представляет собой укрепление грунтов, каменных материалов и асфальтового гранулята неорганическими вяжущими в результате дробления существующего асфальтобетонного покрытия и слоя основания с помощью специального технологического оборудования - ресайклера. Особенностью данной технологии является возможность использования в устраиваемом слое дорожной одежды материалов старого дорожного покрытия и основания, с возможностью использования существующих грунтов земляного полотна или же добавления в устраиваемый слой техногенных грунтов.

Основными технологическими операциями при выполнении работ по холодной регенерации являются:

- выполнение разбивочных работ на участке производства работ;
- выполнение работ по предварительному фрезерованию асфальтобетонного покрытия в целях выравнивания продольного и поперечного профиля, в случае необходимости;
- распределение цемента и гранулометрических добавок в виде щебня или других инертных добавок или же химических добавок - модификаторов или стабилизаторов, в случае их необходимости;
- выполнение работ по ресайклингу разрушенных слоев покрытия и основания, то есть выполнение работ по его раздроблению и смешению с цементом и добавками с последующей профилировкой и уплотнением;
- уход за устроенным слоем;
- выполнение работ по устройству вышележащих асфальтобетонных слоев покрытия.

Преимуществом технологии устройства конструктивных слоев дорожных одежд методом холодной регенерации является:

- применение существующих материалов старых (разрушенных) конструктивных слоев дорожных одежд или местных грунтов;
- повышенные физико-механические характеристики слоя основания по модулю упругости, минимум на 20-50 % в сравнении с классической конструкцией дорожной одежды с применением песка и щебня;
- высокие темпы и производительность работ;
- возможность выполнения работ без закрытия движения участка ремонта и отсутствие необходимости в устройстве временных объездных дорог;
- возможность пропуска транспортных средств с повышенной нагрузкой и интенсивностью вследствие повышенной несущей способности дороги;
- снижение стоимости выполнения дорожно-строительных работ на 25-40 % в сравнении с устройством дорожной одежды с применением песка и щебня.

Анализ стоимости устройства дорожных одежд на 1000м<sup>2</sup>, на примере стоимости выполнения работ на дорогах межмуниципального значения Воронежской области, дает следующие экономические показатели:

1 вариант:

Асфальтобетонное покрытие толщиной 5 см	555 089 руб.
Холодная регенерация толщиной 20 см без добавления гранулометрических или химических добавок	367 085 руб.
Общая стоимость работ	922 174 рублей

2 вариант:

Асфальтобетонное покрытие толщиной 5 см	555 089 руб.
Холодная регенерация толщиной 20 см с добавлением щебня фр. 5-20 мм для выравнивания профиля средней толщиной 11 см или химических добавок	627 572 руб.
Общая стоимость работ	1 182 661 рублей

### 3 вариант (классическая дорожная одежда):

Асфальтобетонное покрытие толщиной 5 см	555 089 руб.
Щебень М 1000 толщиной 20 см	845 385 руб.
Песок толщиной 15 см	160 168 руб.
Общая стоимость работ	1 560 643 рублей

Проведенный анализ стоимостных показателей дорожных одежд доказывает целесообразность применения технологии холодного ресайклинга в сравнении с технологиями устройства классических дорожных одежд с применением песка и щебня.

В связи с проведением Специальной военной операции в Луганской, Донецкой, Запорожской и Херсонской областях образуется большое количество отходов от сноса зданий и сооружений, которые необходимо либо утилизировать на специальных полигонах, либо рассмотреть возможность их повторного применения в строительстве.

В дорожном строительстве нормативно не закреплен вопрос о применении техногенных грунтов в виде боя естественных каменных материалов, бетона и кирпича при выполнении работ по ремонту и капитальному строительству автомобильных дорог. Отдельный интерес вызывает применение вышеуказанных материалов в основаниях дорожных одежд из укрепленных цементом материалов на дорогах с низкой интенсивностью движения. Проведение исследований по оценке использования вышеуказанных материалов в дорожном строительстве позволит расширить номенклатуру строительных материалов, применяемых в дорожной отрасли с одновременным снижением стоимости дорожных работ, а также уменьшить техногенную нагрузку человека на окружающую среду в виде снижения необходимости утилизации отходов строительного производства на специализированных полигонах.

В целях выполнения задачи по оценке возможности применения материалов от разборки зданий, при выполнении работ по устройству укрепленного цементом основания произведен отбор проб щебеночного основания на автомобильной дороге Сватово - Новопсков - Меловое в Луганской Народной Республике РФ, а также отобран материал от разборки стен жилого дома. Отобранный щебеночный материал из основания дороги и материал от разборки стен дома доставлялся в дорожную лабораторию ВГТУ для проведения испытаний и оценки возможности его применения при последующих дорожных работах.

Проведенные испытания щебеночного материала по марочной прочности показали его прочность, соответствующую М 1400. Материал от разборки стен представляет собой старую разрушенную кирпичную кладку фракции до 40 мм с марочной прочностью М 200. В целях разработки технических решений для применения вышеуказанных материалов в качестве укрепленного цементом основания автомобильной дороги в лабораторных условиях были подготовлены три состава минеральных материалов, укрепленных цементом в объеме 10 % по массе, в том числе один с модифицирующей добавкой «MADOR». Состав № 1 является базовым относительно составов № 1 и № 2. Ввиду того, что состав № 1

на 80 % состоит из высокопрочной щебеночно-песчаной смеси М1400 оптимального гранулометрического состава С5 и на 20 % из природного песка. На данном составе возможно добиться максимальных прочностных физико-механических характеристик при укреплении его тем же количеством цемента, что на составах № 2 и № 3. Состав № 2 на 80 % состоит из щебня и на 20 % из песка. При этом половина щебеночной фракции состоит из высокопрочного щебня фракции 5-20 мм М 1400 из основания дороги и половина щебня из боя малопрочного кирпича от сноса здания М 200. Данная минеральная смесь укреплена цементом – 10 %. Состав № 3 также на 80 % состоит из щебня и на 20 % из песка. При этом, половина щебеночной фракции состоит из высокопрочного щебня фракции 5-20 мм М 1400 из основания дороги и половина щебня из боя малопрочного кирпича от сноса здания М 200. Данная минеральная смесь укреплена цементом – 10 % и 3 % от массы цемента модификатором «MADOR». В состав № 3 внесен модификатор «MADOR» с целью определения его влияния на физико-механические показатели и достигаемый эффект от его применения в минеральных системах с использованием материалов, образующихся от сноса зданий. Для получения физико-механических характеристик составов лабораторных смесей из минеральных материалов, укрепленных цементом, готовились лабораторные образцы и проводились их испытания – табл.1.

Таблица 1

Наименование показателя	Состав №1	Состав №2	Состав №3
Прочность при сжатии R <sub>сж</sub> образцов после 28 суток твердения, МПа	8,20	5,73	8,13
Прочность на растяжение при расколе R <sub>раск</sub> образцов после 28 суток, МПа	1,03	1,02	1,20

Проведенные исследования по укреплению цементом минеральных материалов для устройства оснований дорожных одежд с применением материалов от сноса зданий доказали возможность их использования по прочностным показателям. Проведенные исследования минеральных материалов, укрепленных цементом в комплексе с модификатором «MADOR» (состав № 3), показали возможность применения материалов, образующихся от сноса зданий в объеме до 50 % от замещаемого объема щебеночных материалов без увеличения содержания цемента. Применение модификатора «MADOR» в комплексе с цементом (состав № 3) по сравнению с минеральным материалом, укрепленным цементом без модификатора (состав № 2), увеличивает показатель прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии в 1,4 раза, прочность на растяжение при расколе в водонасыщенном состоянии в 1,18 %. Применение модификатора позволяет добиться физико-механических характеристик, укрепленных цементом материалов, с наличием в их составе низко прочных материалов от сноса зданий (состав № 3), сопоставимых с физико-механическими характеристиками, обработанных

цементом щебеночно-песчаных смесей с нормируемыми ГОСТ характеристиками (состав № 1).

Также отдельно стоит отметить, что предлагаемые выше технические решения по замене высокопрочных щебеночных материалов М 800 - М 1400 на низко прочные материалы от разборки и сноса зданий и сооружений при устройстве оснований автомобильных дорог из укрепленных цементом материалов потребует решения различных инженерных задач:

— механическая разборка, сортировка и переработка до требуемого состояния материалов от сноса зданий;

— разработка классификатора получаемых материалов от сноса зданий с привязкой к нормативным документам дорожного хозяйства;

— разработка методов испытаний физико-механических характеристик, получаемых материалов от сноса зданий;

— внесение изменений в существующие нормативные документы по применению получаемых материалов от сноса зданий с рекомендациями по технологии устройства законченных конструктивных элементов дорожных одежд.

## Литература

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 / Васильев Ю. М. // 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. Никеров Н. С. Дорожные одежды автомобильных дорог общего пользования / Н. С. Никеров // Ч. 2. Конструирование и расчет. — СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2001. — 84 с.

9. Петкявичус К. Возможности использования местных нерудных материалов при строительстве и ремонте автомобильных и железных дорог / К. Петкявичус, И. Подагелис, А. Лауринавичус // Строительные материалы. — №3. — 2006. — С. 32-35.

10. Пичугин А. П. Деформационные процессы в укрепленных грунтах / А. П. Пичугин, В. А. Гришина, И. К. Язиков // Экология и новые технологии в строительном материаловедении. Международный сборник научных трудов. — Новосибирск, 2010. — С. 74-75.

11. 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.

12. Подольский Вл. П. Строительство автомобильных дорог / Вл. П. Подольский [и др.] // Земляное полотно: Учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. Под ред. Вл. П. Подольского. — М.: Издательский центр «Академия», 2013. — 304 с.

13. 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. — № 1, 2014. — С. 102-111.

14. Фурсов С. Г. Эффект модификатора «ДорЦем ДС-1» / С. Г. Фурсов и [др.] // Автомобильные дороги. — 2011. — №5. — С. 136-139.

## **CEMENT-REINFORCED ROAD STRUCTURES WITH MATERIALS FROM DEMOLITION OF BUILDINGS, MODIFIED WITH THE ADDITION OF «MADOR»**

**F.V. Matvienko, V.A. Ulyanov**

Voronezh State Technical University, Voronezh  
e-mail: Fmatvienko@yandex.ru

**Annotation.** Currently, the regulatory and technical documentation of the Russian Federation has insufficiently worked out the issue of the possibility of using waste from the demolition of buildings and structures for the construction of pavement foundations made of cement-reinforced materials. The issues of the use of man-made materials in the form of natural stone materials, concrete and bricks during road construction work are not fully reflected. Conducting research and developing engineering solutions to assess the use of the above-mentioned materials in road construction will expand the range of building materials and reduce the anthropogenic human impact on the environment.

**Keywords:** highways, soil reinforcement, material from demolition of buildings, cement, modifier "MADOR", strength.

**Научное издание**

**УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ  
В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕХОДА  
К ЭКОНОМИКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА**

Сборник статей  
по материалам общероссийской научно-практической конференции  
с международным участием

(г. Воронеж, 01-02 ноября 2023 г.)

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 26.04.2024.

Объем данных 3,3 Мб.

Тираж 10 экз.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84