

Научная статья
УДК 625.731.1

ТЕХНОЛОГИИ АРМИРОВАНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ ЗОЛ УНОСА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Евгений Геннадьевич Васильев¹, Сергей Александрович Чудинов²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ geomera@list.ru

² chudinovsa@m.usfeu.ru

Аннотация. В статье приводится краткий обзор исследований применения зол уноса в дорожном строительстве. Рассматриваются актуальные вопросы армирования тела насыпи автомобильных дорог, состоящей из золы уноса с применением геосинтетических материалов. Предложена модель армирования нижней части насыпи с применением геокомпозитного армогрунтового слоя, состоящего из геосотового материала, заполненного золой уноса с подложкой из армирующего геотекстиля.

Ключевые слова: зола уноса, геосинтетический материал, армирование, геотекстиль, геосотовая конструкция

Original article

TECHNOLOGIES FOR REINFORCING FLOW ASH WITH GEOSYNTHETIC MATERIALS IN ROAD CONSTRUCTION

Evgeny G. Vasiliev¹, Sergey A. Chudinov²

^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ geomera@list.ru

² chudinovsa@m.usfeu.ru

Abstract. The article provides a brief overview of research on the use of fly ash in road construction. The current issues of reinforcing the body of a highway embankment consisting of fly ash using geosynthetic materials are considered. A model is proposed for reinforcing the lower part of the embankment using a geocomposite reinforced soil layer consisting of geocellular material filled with fly ash with a backing made of reinforcing geotextile.

Keywords: fly ash, geosynthetic material, reinforcement, geotextiles, geocellular structure

Одними из составляющих необходимой эксплуатационной характеристики автомобильных дорог являются качество и надежность насыпи земляного полотна и, в частности, его рабочего слоя. Однако не всегда строительный грунт находится в пределах экономически оправданной дальности перевозки от объекта строительства, нередко приходится использовать доступные грунты из придорожных резервов, которые могут позиционироваться как слабые по классификации ГОСТ 33063–2014, не соответствующие требованиям, предъявляемым ГОСТ Р 59864.1–2022 к грунтам земляного полотна. Одним из вариантов решения данной проблемы может являться применение в качестве грунта насыпи отходов производств. К этому добавляется решение проблемы их утилизации, особенно в индустриально развитых районах. Примером тому может служить применение зол уноса.

Зола уноса – остаток горения угольного сырья ТЭС с зернами мельче 0,16 мм, образующийся из минеральных примесей топлива при его сгорании и осаждаемый из дымовых газов золоулавливающими устройствами [1]. Тема применения зол уноса или золошлаковых смесей (ЗШС) в дорожном строительстве достаточно изучена. Области применения касаются в основном укрепленных слоев дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна, где зола уноса применяется в качестве минерального вяжущего или добавки к вяжущему. Применение ЗШС в насыпи земляного полотна рассматривается в работе А. А. Лунева. Он исследовал физические, прочностные и деформационные характеристики ЗШС [2].

Уральский филиал РОСДОРНИИ занимался исследованиями зол уноса, находящихся в отвалах Рефтинской ГРЭС. Данные ЗШС имеют коэффициент фильтрации менее 0,1 м/сут и относятся к слабоводопроницаемой разновидности грунтов по ГОСТ 25100 «Грунты. Классификация» или к недреннующим грунтам по П 78.13330.2012 «Автомобильные дороги».

По результатам исследования была подтверждена возможность применения зол уноса в слоях основания и земляного полотна автомобильных дорог: в составе золоминеральных смесей для устройства слоев основания дорожной одежды; для отсыпки земляного полотна и дополнительных морозозащитных и теплоизолирующих слоев дорожной одежды при условии организации армирования и гидроизоляции конструктивных элементов автомобильной дороги, устраиваемых из золы; нецелесообразность использования в качестве самостоятельного слоя и вяжущего материала для устройства дренирующих слоев дорожной одежды [3].

В научных работах А. В. Мащенко, А. Б. Пономарева, Т. А. Спирина рассматривается применение золы уноса с армированием базальтовым волокном в основании фундамента [4]. Согласно этим исследованиям, такой тип армирования увеличивает удельное сцепление материала почти в 3,5 раза, но снижает угол внутреннего трения (на 30 %) и модуль деформации (на 35 %). Использование золы уноса в качестве инертного материала

или грунта отсыпки земляного полотна имеет ряд ограничений по недопущению переувлажнения, также необходимы мероприятия по предотвращению пыления и размыва и в ряде случаев по увеличению прочностных и деформационных характеристик зол уноса.

Нами предложены два варианта улучшения свойств ЗШС:

1) армирование геосинтетическими материалами, а именно устройство композитного армогрунтового слоя (геокомпозита), состоящего из прослойки тканого армирующего геотекстиля по ГОСТ 56338–2015 и геосотового материала в виде объемной (пространственной) георешетки, заполненной грунтом насыпи (золой уноса);

2) армирование золы уноса базальтовым волокном (отходами производства базальтового утеплителя).

Геокомпозит может быть применен как в основании насыпи, так и в верхней части рабочего слоя земляного полотна. В расчете дорожной одежды по критерию упругого прогиба определение общего расчетного модуля упругости конструкции использует модуль упругости на поверхности насыпи. Влияние армирования верхней области рабочего слоя может быть выражено через коэффициент армирования, представляющего собой отношение модуля упругости на поверхности армированного слоя к модулю без армирования. В исследованиях 26 ЦНИИ МО РФ грунтов, армированных геотекстилем и объемной георешеткой [5], были получены коэффициенты армирования (табл. ниже).

Численные значения коэффициентов армирования тканым геотекстилем и объемной георешеткой конструктивных слоев дорожных одежд и аэродромных оснований

Материал конструктивного слоя и схема армирования	Коэффициент армирования, K_a
Щебень + геотекстиль Геоспан	1,30
Гравий (шлак) + геотекстиль Геоспан	1,30
Песок + геотекстиль Геоспан	1,45
Супесь (суглинок, глина) + геотекстиль	1,52
Щебень + объемные георешетки + геотекстиль	1,76
Гравий (шлак) + объемные георешетки + геотекстиль Геоспан	1,76
Песок + объемные георешетки + геотекстиль	1,92
Супесь (суглинок, глина) + объемные георешетки + геотекстиль Геоспан	1,99

В ОДМ 218.3.032–2013 прописана методика учета объемной георешетки в расчете прочностных параметров дорожных одежд. Методика заключается в том, что используются готовые табличные значения модулей упругости геокомпозита грунт-георешетка в зависимости от типа грунта.

Для определения эффективности предложенной конструкции и включения ее в расчетную методику предлагается провести ряд испытаний. Необходимо получить значения прочностных и деформационных характеристик золы уноса, армированной с применением геокомпозита и базальтовых волокон. Эксперимент состоит из двух частей: испытание самого армированного материала и испытание модели дорожной насыпи, в конструкцию которой входит армированная зола уноса.

В состав установки для испытания грунта штампом должны входить:

- стенд (грузовая платформа) с моделью грунтовой конструкции земляного полотна;
- круглый штамп диаметром 36 см;
- устройство для создания и измерения нагрузки на штамп;
- устройство для измерения осадок штампа (прогибомеры, датчики перемещений с погрешностью не более 0,1 мм);
- датчик давления, сконструированный на базе датчика уровня жидкости Piezus APZ 2422.

Конструкция установки должна обеспечивать возможность нагружения штампа ступенями давления по 0,01–1,00 МПа, центрированную передачу нагрузки на штамп и постоянство давления на каждой ступени нагружения. Каждую ступень давления выдерживают до условной стабилизации деформации грунта (осадки штампа). За критерий условной стабилизации деформации принимают скорость осадки штампа.

Сначала испытывается непосредственно зола уноса в естественном состоянии и в двух вариантах армирования на жестком основании. Измеряются модуль упругости, модуль деформации и предел прочности на разрушение образца или на максимальные деформации (для геокомпозита). Второй этап эксперимента предполагает испытание нескольких конструкций моделей насыпи: насыпи и верхней части рабочего слоя земляного полотна (основания дорожной одежды) при разной степени увлажнения золы уноса.

Целями испытаний являются:

- выявление максимальной прочности (несущей способности) геокомпозита;
- получение значений модулей упругости и деформации золы уноса, в том числе с армированием геокомпозитом и базальтовым волокном;
- получение зависимости коэффициентов армирования геокомпозита от влажности золы уноса.

Полученные значения позволят рассчитать прочностные характеристики нежесткой дорожной одежды по методике ПНСТ 542 с применением

золы уноса, армированной геокомпозитом и базальтовым волокном и последующей оценкой экономической эффективности данных вариантов армирования.

Список источников

1. Путилин Е. И., Цветков В. С. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог : обзор. информ. отеч. и заруб. опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС. М. : Союздорнии, 2003 (УОП Союздорнии). 58 с.

2. Лунев А. А. Обоснование расчетных значений механических характеристик золошлаковых смесей для проектирования земляного полотна : дис. ... канд. техн. наук / Лунев Александр Александрович. Омск : Сиб. гос. Автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2019. 192 с.

3. Отчет о НИР: Техничко-экономическое обоснование применения золы уноса Рефтинской ГРЭС в технологиях дорожного строительства (устройство земляного полотна и слоев оснований дорожных одежд). Екатеринбург : Уральский филиал ОАО «ГИПРОДОРНИИ», 2011. 50 с.

4. Мащенко А. В., Пономарев А. Б., Спирина Т. А. Применение золы уноса в качестве оснований фундаментов // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8, № 3. С. 89–96. DOI 10.15593/2224-9826/2017.3.10

5. МО РФ, 26 центральный научно-исследовательский институт министерства обороны РФ (26 ЦНИИ МО РФ). Заключение по результатам испытаний тканого геотекстиля ООО «Гекса-нетканые материалы». М., 2008. 17 с.