

Научная статья  
УДК 630.381.2

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ЛЕСНОЙ ЗОНЫ ОТХОДАМИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Оксана Викторовна Зубова<sup>1</sup>, Вадим Витальевич Силецкий<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup> ok\_z19@mail.ru

<sup>2</sup> lol.spairo@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы укрепления грунтов альтернативными экологичными и экономичными вяжущими на основе отходов промышленности. Предложена технология приготовления смесей с применением мобильных смесительных установок, повышающих качество материала.

**Ключевые слова:** лесное дорожное строительство, нефелиновый шлам, щелочи, укрепление грунтов

Scientific article

## IMPROVING THE TECHNOLOGY OF STRENGTHENING THE SOILS OF THE FOREST ZONE WITH INDUSTRIAL WASTE

**Oksana V. Zubova<sup>1</sup>, Vadim V. Siletskiy<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov,  
Saint Petersburg, Russia

<sup>1</sup> ok\_z19@mail.ru

<sup>2</sup> lol.spairo@yandex.ru

**Abstract.** The issues of strengthening soils with alternative eco-friendly and economical binders based on industrial waste are considered. The technology of preparation of mixtures with the use of mobile mixing plants that improve the quality of the material is proposed.

**Keywords:** forest road construction, nepheline sludge, alkalis, soil strengthening

Рациональное использование лесных ресурсов является крайне важным аспектом лесозаготовительного комплекса в целом. Вопрос истощительного характера лесопользования на арендованных участках с каждым годом встает все более остро [1]. В основе такой модели

лесоиспользования лежит краткосрочная экономическая выгода, в аренду берутся участки с повышенной густотой лесного массива на 1 гектар, в то время как делянки со средней густотой насаждений игнорируются. Лесовосстановление, проводимое на густо засаженных делянках, не компенсирует в полном объеме нанесенный экосистеме экологический урон.

Проблема подбора участков напрямую коррелируется с лесной дорожной инфраструктурой. Лесозаготовителям экономически нецелесообразно заниматься проектированием и строительством дорог лесных дорог к участкам со средним объемом древесины. Таким образом, одним из решений поставленной проблемы может быть снижение стоимости строительства лесной дороги к делянке.

Вопрос рационального использования ресурсов применим не только к лесозаготовкам, но также и к лесному дорожному строительству. Использование при строительстве лесной дороги грунтов местного залегания значительно снизит стоимость строительства. Однако большинство грунтов местного залегания не обладает достаточной проектной прочностью, необходимой для обеспечения несущей способности.

Вопросом укрепления грунтов местного залегания занимаются в том числе на кафедре Промышленного транспорта СПбГЛТУ [2–5]. Ключевым направлением исследований является укрепление грунтов отходами промышленности. Данное направление позволяет рационально использовать имеющиеся ресурсы, а также положительно сказывается как на экологической, так и на экономической составляющей проекта.

В рамках данного направления были проведены исследования по взаимодействию отходов промышленности с грунтами местного залегания, наиболее детально рассмотрено взаимодействие нефелинового шлама с грунтами [6, 7]. Были выявлены определенные недостатки процессов формирования смеси из альтернативного дорожно-строительного материала, такие как длительное структурообразование, высокая пористость и т. д. В ходе анализа данных недостатков были внесены корректировки состава смеси, а также проведено исследование по добавлению катализаторов [8].

Полученные образцы соответствуют по своим физико-механическим характеристикам ГОСТ 23558-94 [9]. В связи с отличием технологических процессов при строительстве с использованием традиционного материала от предлагаемого была разработана методика смешивания и укладки альтернативного дорожно-строительного материала.

Технология строительства дорожных конструкций включает разработанные составы смесей на основе нефелинового шлама с грунтами и различными щелочами. Оптимальные дозировки и физико-механические показатели различных смесей приведены в таблице.

Подавляющее большинство полученных смесей обладает высокими прочностными характеристиками. Все смеси могут применяться для создания дорожно-строительного материала в различных конструктивных слоях в зависимости от прочностных показателей.

Физико-механические характеристики экспериментального материала

№	Состав смеси					Прочность R <sub>сж</sub> , МПа	Водопоглощение W, %	Модуль упругости E <sub>упр</sub> , МПа
	НФШ	Грунт	Щелочь	Известь	Цемент			
1	50	50	–	2%	2%	2,45	3,92	240,57
2	50	50	–	2%	–	2,10	3,75	195,00
3	50	50	–	–	2%	1,50	7,12	112,00
4	50	50	1Na	–	–	3,40	3,61	465,71
5	50	50	1К	–	–	3,10	3,21	434,00

Разработан способ приготовления шламогрунтовой смеси с добавлением щелочей в мобильном бетонном заводе. Шламогрунтовая смесь может изготавливаться в удалении от места производства работ, а может производиться на самом месте укладки при помощи мобильных установок, существует также вариант приготовления смеси одновременно с укладкой, в этом случае являясь составной частью технологии выполнения покрытия непосредственно на месте.

Технологический процесс изготовления материала из полученной смеси частично схож с производством асфальтобетонной смеси. Процесс получения асфальтобетонной смеси включает следующие основные операции:

- подготовку минеральных материалов (подача и при необходимости сортировка их, высушивание и нагрев, дозирование);
- подготовку битума (подача из битумохранилища в битумоплавильню и нагрев до заданной температуры, а в необходимых случаях – введение ПАВ или разжижителя);
- перемешивание минеральных материалов с битумом и выгрузку готовой асфальтовой смеси в накопительные бункера или автосамосвалы.

Основной существенной разницей в технологии приготовления необходимого шламогрунта от производства асфальтобетона является то, что не используется разогретый битум, а заменой минерального порошка является щелочь. Вследствие этого упрощается процесс приготовления, а также существенно снижается энергоемкость процесса, так как отпадает необходимость в использовании горелок сушильного барабана и горелок для разогрева битума.

При производстве шламогрунтовой смеси, укрепленной малыми дозами щелочи, необходимо проводить систематический контроль качества выпускаемой продукции. Особое внимание следует обращать на точность дозировки компонентов.

Описание проектируемой технологии производства

1. В бункере-преддозаторе завода хранится небольшой запас нефелинового шлама. С его помощью производится предварительное дозирование.

2. Конвейером материал подается в барабанно-шаровую мельницу. В барабане происходит измельчение нефелинового шлама до нужной фракции.

3. Из бункера-накопителя грунт подается в дозатор в соответствии с рецептом смеси.

4. Конвейерный подъемник завода доставляет помолотый нефелиновый шлам в бункер. Нефелиновый шлам складировается и хранится в отдельном бункере до попадания в смесь.

5. Дозирование материалов, отправка в смеситель.

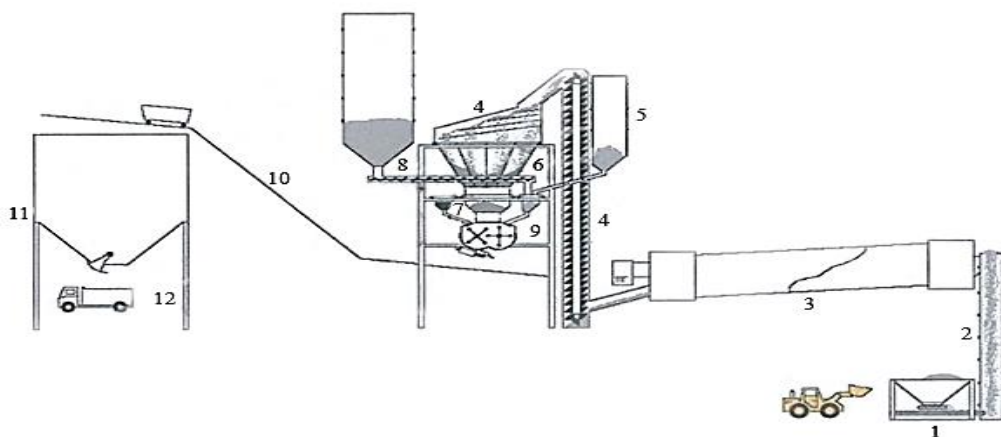
6. Грунт из силоса шнеком подается в бункер-дозатор, где происходит взвешивание и отправка в смеситель. Таким же образом подается щелочь.

7. Двухосный смеситель производит перемешивание материалов.

8. Готовая смесь подается в бункер для дальнейшей транспортировки.

9. Выгрузка из бункера-накопителя в грузовой автомобиль.

Принципиальная схема технологии производства изображена на рисунке.



Технология производства шламогрунтовой смеси, укрепленной малыми дозами щелочей:

- 1 – бункер-преддозатор для хранения нефелинового шлама; 2 – конвейер для подачи нефелинового шлама в сушильную камеру; 3 – барабанно-шаровая мельница для измельчения нефелинового шлама; 4 – конвейерный подъемник для доставки нефелинового шлама в грохоты для сортировки и отсева; 5 – бункер для хранения щелочи; 6 – бункер для хранения нефелинового шлама нужной фракции, 7 – дозатор отсева нефелинового шлама; 8 – бункер для хранения грунта, оборудованный шнековым транспортером для подачи в дозатор; 9 – двухосный смеситель; 10 – податчик готовой смеси в бункер для дальнейшей транспортировки; 11 – бункер для хранения готовой смеси; 12 – выгрузка готовой смеси из бункера в грузовой автомобиль

*Заключение.* Использование альтернативного дорожно-строительного материала на основе нефелинового шлама с катализаторами положительно сказывается на рентабельности. Расширение лесной инфраструктуры благодаря строительству экономичных лесных дорог окажет значимое влияние на экологическую составляющую территории Российской Федерации за счет:

- рационального распределения вырубki лесов;
- утилизации используемых отходов промышленности;
- развитой лесной инфраструктуры, что также позволит своевременно и оперативно устранять очаги возгорания.

Предложенная методика по приготовлению и укладке альтернативного дорожно-строительного материала способствует тщательному смешиванию составляющих материала, что положительно сказывается на физико-механических характеристиках.

#### *Список источников*

1. Суслов А. В., Скупаринов В. П. Истощительный характер лесопользования на арендованном участке ирбитского лесничества // Леса России и хоз-во в них. 2021. № 3 (78). С. 30–37. DOI: 10.51318/FRET.2021.56.22.004.

2. Улучшение свойств дорожно-строительного материала из смеси гранитного отсева и нефелинового шлама, с изменением его дробления / Г. А. Бессараб, Н. А. Суворова, С. А. Просеков, Р. В. Краснов, А. А. Елисеев // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : матер. Междунар. науч. конф. Вологда : ВГТУ. 2014. № 1. С. 20–23.

3. Колбас Н. С. Вопросы теории комплексного укрепления грунтов вяжущими материалами с применением лесохимических реагентов и отходов промышленности. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. 184 с.

4. Зубова О. В. Исследование влияния гранулометрического состава грунтов на прочность зологрунтовой смеси, обработанной цементом // Тр. БГТУ. № 2. Лесн. и деревообраб. пром-сть. 2012. № 2 (149). С. 118-120.

5. Способ устройства конструктивных слоев дорожных одежд на основе золопесчаной смеси вяжущих / О. В. Зубова, Г. А. Бессараб, Э. О. Салминен, Н. А. Суворова, В. В. Артемьев // Новые строительные материалы : матер. междунар. науч. конф. Труды БГТУ. Минск : БГТУ, 2013. № 1 С. 23–27.

6. Зубова О. В., Силецкий В. В. Исследование процесса структурообразования материала из смеси нефелинового шлама и щебня с добавлением цемента // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 179–186. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.179-186.

7. Исследования дорожных смесей на основе грунтов лесной зоны и нефелинового шлама с добавками минеральных вяжущих / О. В. Зубова, В. В. Силецкий, А. П. Козлов, К. В. Кузнецов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 223 С. 187-200. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.187-200.

8. Increase sludge-ground and ash-ground mixtures crystal lattice strength by lowering the pH environment / О. В. Зубова, В. В. Силецкий, С. Ю. Куканов, Т. В. Коваленко // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. 316 с. 12085. DOI:10.1088/1755-1315/316/1/012085.

9. ГОСТ 23558-94. Смесей щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. М, 2005. 10 с.