



Кафедра автомобильных дорог  
ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский  
технический университет

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРИМЕНЕНИЯ  
КОМПЛЕКСНЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ  
НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ  
ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ГРУНТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Слободчикова Н. А.**, к.т.н., доцент кафедры  
автомобильных дорог ФГБОУ ИРНИТУ

**Плюта К.В.**, главный специалист-эксперт дорожного хоз-ва  
ОККР ФКУ Упрдор «Прибайкалье»

**Коновалов Н.П.**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой физики  
ФГБОУ ВО ИРНИТУ

**Каташевцев М.Д.**, к.т.н., доцент центра программной  
инженерии ФГБОУ ВО ИРНИТУ

**КАЗАНЬ, 2022**

# АКТУАЛЬНОСТЬ

## ПРОЕКТЫ И СТРАТЕГИИ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ



- Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года
- Национальный проект «Безопасные и качественные дороги»
- Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1431
- Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления до 2030 года
- Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 г.



НАКОПЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

# НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

- ГОСТ 23558 «Смеси щебеноочно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия»
- Проект ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Грунты, стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими. Технические условия»
- Проект ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Комплексные минеральные вяжущие для стабилизации и укрепления грунтов. Технические условия»
- ОДМ 218.2.031 «Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве»



- Виды вяжущих материалов
- Общие требования к вяжущим материалам



- Ориентировочные значения содержания неорганических вяжущих в укрепляемом грунте
- Большая трудоемкость работ по подбору составов укрепленных грунтов
- Область применения неорганического вяжущего в зависимости от разновидности укрепляемого грунта
- Требования к неорганическим вяжущим материалам в зависимости от ДКЗ
- Рекомендации по применению неорганических вяжущих на основе техногенных отходов

# ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

повышение эффективности строительства дорожных одежд автомобильных дорог путем укрепления местных грунтов минеральными вяжущими с применением техногенных отходов

**разработка**  
области  
применения

**расширение**  
номенклатуры  
комплексных  
неорганических  
вязущих

**создание**  
программного  
обеспечения



# ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАБОТЫ

- 1. Разработка составов комплексных неорганических вяжущих с применением техногенных отходов (золошлаковых смесей, золуноса ТЭЦ и фторгипса), сопоставительный анализ полученных результатов, выявление зависимостей**
- 2. Разработка ускоренных методов подбора укрепленных грунтов с применением СВЧ-излучения**
- 3. Разработка программного обеспечения с использованием нейронных сетей для прогнозирования качественных характеристик укрепленного грунта на основе свойств исходных материалов**
- 4. Разработка области применения минеральных вяжущих, в том числе, на основе техногенных отходов, в зависимости от конструктивного слоя дорожной одежды автомобильных дорог с целью повышения эффективности строительства**



# РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ

## НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ. ЗОЛОШЛАКОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ

Золошлаковая смесь  
(первоначальный вид)



Золошлаковая смесь  
(перемолотая)



№ п/п	Наименование вяжущего	Нормальная густота, %	Тонкость помола, %	Требование НТД	Прочность на сжатие, МПа		
					7 сут	28 сут	90 сут
1.	Золошлаковая смесь (перемолотая)	41	8,56	ГОСТ 23558-94 не менее 5 МПа	0,20	0,23	0,28

# РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ

## НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ.

### ИЗВЕСТКОВО-ЗОЛЬНОЕ ВЯЖУЩЕЕ



№ п/п	Содержание компонентов, % по массе	Нормальная густота, %	Тонкость помола, %	Требование НТД	Прочность на сжатие, МПа	
					28 сут	90 сут
1.	Золошлаковая смесь (перемолотая)	Известь воздушная гидратная	20 %	46,2	11,68	ГОСТ 23558-94 не менее 10 МПа на сжатие
2.			25 %	46,8	11,81	
3.			30 %	47,2	12,13	
4.		Известь воздушная негашеная комовая	20 %	43,1	11,74	
5.			25 %	45,2	11,85	
6.			30 %	46,1	11,97	

# РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ

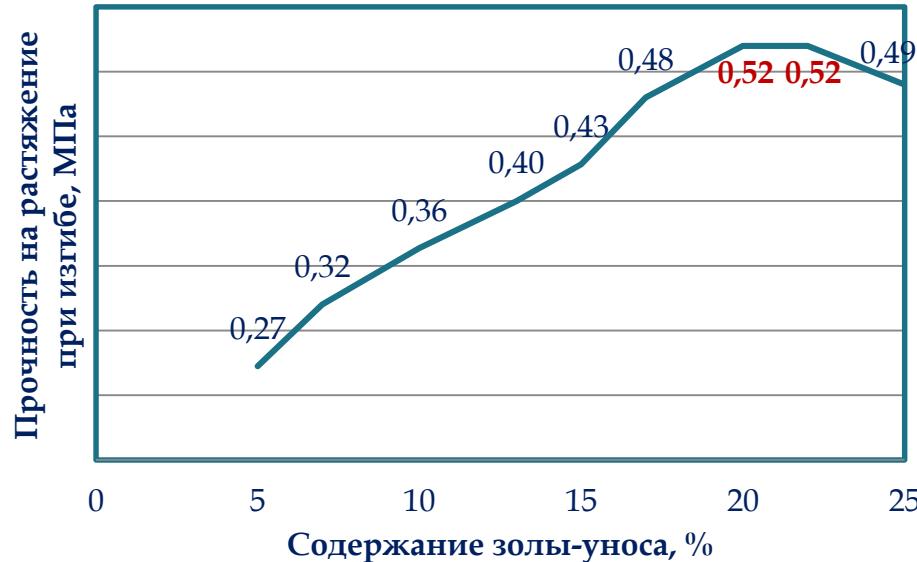
## НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ. ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОЕ ВЯЖУЩЕЕ



№ п/п	Содержание компонентов, % по массе	Нормальная густота, %	Тонкость помола, %	Требование НТД	Прочность на сжатие, МПа	
					7 сут	28 сут
1.	Золошлаковая смесь (перемолотая)	цемент 10 %	39,7	9,93	ГОСТ 23558-94 не менее 10 МПа на сжатие	1,50
2.		цемент 15 %	38,3	9,98		2,75
3.		цемент 20 %	37,5	10,03		3,74
4.		цемент 25 %	36,4	10,09		7,80
5.		цемент 30 %	35,6	10,14		8,12
						10,12

# РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ

## НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ. ЗОЛО-ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ



№ п/п	Содержание компонентов, % по массе	Станд. кон-ция, мм	Тонкость помола, %	Требование НТД	Прочность, МПа	
					сжатие	растяжение при изгибе
1.	Гипсовое вяжущее (фторгипс)	180	7,96	ГОСТ 23558-94 не менее 10 МПа на сжатие	5,92	0,27
2.			8,02		7,06	0,36
3.			8,12		9,33	0,43
4.			8,18		10,21	0,52
5.			8,24		9,61	0,49

# РЕЗУЛЬТАТЫ

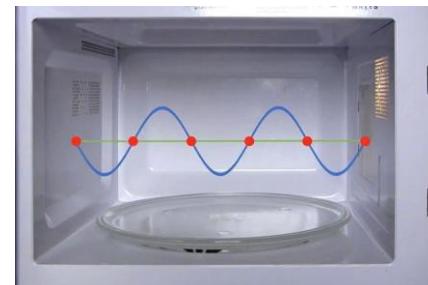
## ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ УКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОВ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ МИКРОВОЛНОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Наименование грунта	Вяжущее	Содержание вяжущего, %	Предел прочности на сжатие <b>после обработки</b> образцов микроволновым излучением, МПа	Предел прочности на сжатие в возрасте <b>28</b> сут.
Супесь	Известково-зольное	10	1,47	1,97
Суглинок	Известково-зольное	20	2,21	2,95
Суглинок	Известь	6	4,06	3,90
Супесь	Цемент	6	3,26	4,76
Песок средней крупности	Цементо-зольное	8	1,70	2,12
Суглинок	Цемент	4	4,69	5,05



Изготовленный образец

~~28 суток~~



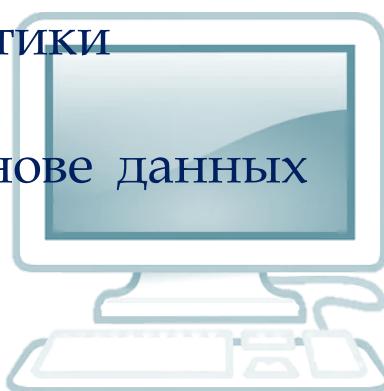
Набор прочности



Образец после определения предела прочности на сжатие

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ для ПРЕДСКАЗАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОВ

- Разработка **математической модели** укрепленного грунта с использованием методов информационного моделирования
- Проектирование и обучение **нейронной сети** на данных лабораторных исследований для выявления неявных связей между качественными характеристиками и разработанными составами
- Разработка **программного обеспечения**, использующее обученную нейросеть, позволяющую проводить виртуальные эксперименты (в ручном и автоматическом режимах) для поиска составов дающих наилучшие качественные характеристики
- **Дообучение и корректировка нейронной сети** на основе данных новых экспериментов



# ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Рекомендации по применению комплексных неорганических вяжущих на основе техногенных отходов при укреплении грунтов автомобильных дорог, включающие:

1. **Составы** комплексных неорганических вяжущих, в том числе на основе техногенных отходов, **позволят расширить номенклатуру** вяжущих материалов
2. **Ускоренный метод** с применением **СВЧ-излучения** **позволит сократить сроки и трудоемкость** подборов составов укрепленных грунтов
3. **Программное обеспечение** для проведения виртуальных экспериментов (в ручном и автоматическом режиме) **с использованием нейронных сетей** **позволит прогнозировать** качественные характеристики, сократить сроки и трудоемкость подборов составов укрепленных грунтов
4. **Область применения** неорганических вяжущих материалов, в зависимости от конструктивного слоя дорожной одежды и вида грунта, **позволит повысить эффективность** проектирования конструкций ДО