



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 ИРНТУ

**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 ИРНТУ

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

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.



- Добыча полезных ископаемых
- Обработывающие производства
- Обеспечение электрической энергией, газом и паром, кондиционирование воздуха
- Другие виды экономической деятельности

НАКОПЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

# НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

📄 **ГОСТ 23558** «Смеси щебеночно-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  
вяжущих



**создание**  
программного  
обеспечения



# ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАБОТЫ

1. Разработка составов комплексных неорганических вяжущих с применением техногенных отходов (золошлаковых смесей, золоноса 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 <b>5</b> МПа	0,20	0,23	<b>0,28</b>



# РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ

## НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ. ИЗВЕСТКОВО-ЗОЛЬНОЕ ВЯЖУЩЕЕ



№ п/п	Содержание компонентов, % по массе		Нормальная плотность, %	Тонкость помола, %	Требование НТД	Прочность на сжатие, МПа	
						28 сут	90 сут
1.	Золошлаковая смесь (перемолотая)	Известь воздушная гидратная	20 %	46,2	ГОСТ 23558-94 не менее 10 МПа на сжатие	2,40	2,66
2.			<b>25 %</b>	46,8		<b>5,08</b>	<b>10,27</b>
3.			30 %	47,2		2,48	3,69
4.		Известь воздушная негашеная комовая	20 %	43,1		2,79	3,02
5.			<b>25 %</b>	45,2		<b>5,18</b>	<b>10,44</b>
6.			30 %	46,1		2,86	3,81

# РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ

## НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ. **ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОЕ ВЯЖУЩЕЕ**

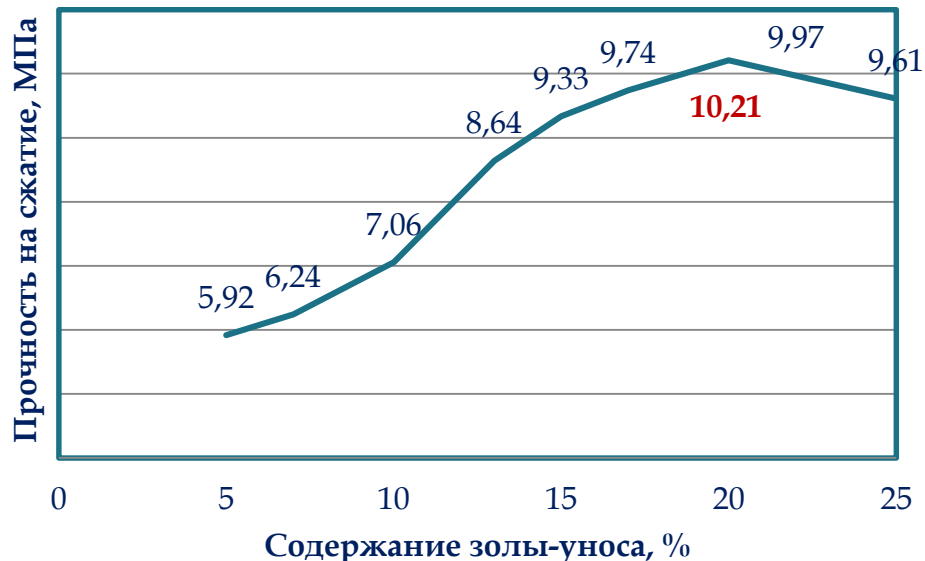


№ п/п	Содержание компонентов, % по массе	Нормальная густота, %	Тонкость помола, %	Требование НТД	Прочность на сжатие, МПа	
					7 сут	28 сут
1.	Золошлаковая смесь (перемолотая)	39,7	9,93	ГОСТ 23558-94 не менее <b>10</b> МПа на сжатие	1,50	1,94
2.					2,75	3,26
3.					3,74	5,12
4.					7,80	8,64
5.					<b>8,12</b>	<b>10,12</b>



# 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)	Золы-уноса, 5 %	180	7,96	ГОСТ 23558-94 не менее <b>10</b> МПа на сжатие	5,92	0,27
2.		Золы-уноса, 10 %		8,02		7,06	0,36
3.		Золы-уноса, 15 %		8,12		9,33	0,43
4.		<b>Золы-уноса, 20 %</b>		8,18		<b>10,21</b>	<b>0,52</b>
5.		Золы-уноса, 25 %		8,24		9,61	0,49

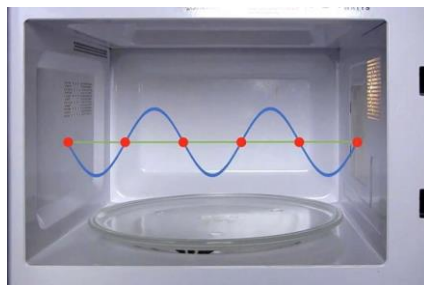
# РЕЗУЛЬТАТЫ

## 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 сут.</b>
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	Цементозольное	8	1,70	2,12
Суглинок	Цемент	4	4,69	5,05



Изготовленный образец



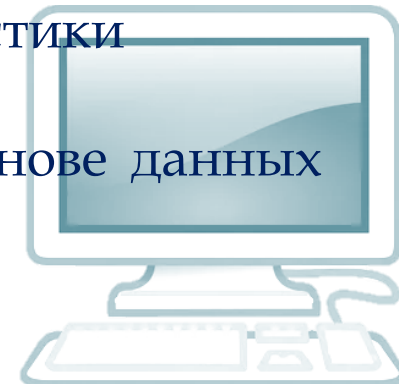
Набор прочности



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