



ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – 2019

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



# Применение укрепленных грунтов в конструкциях дорожных одежд Республики Татарстан

*Проректор по НИР,*

*заведующий кафедрой «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»*

*к.т.н., доцент*

*Вдовин Евгений Анатольевич*

*Круглый стол «Развитие технологии укрепления грунтов минеральными вяжущими материалами в дорожном строительстве» Секция 9*



## АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

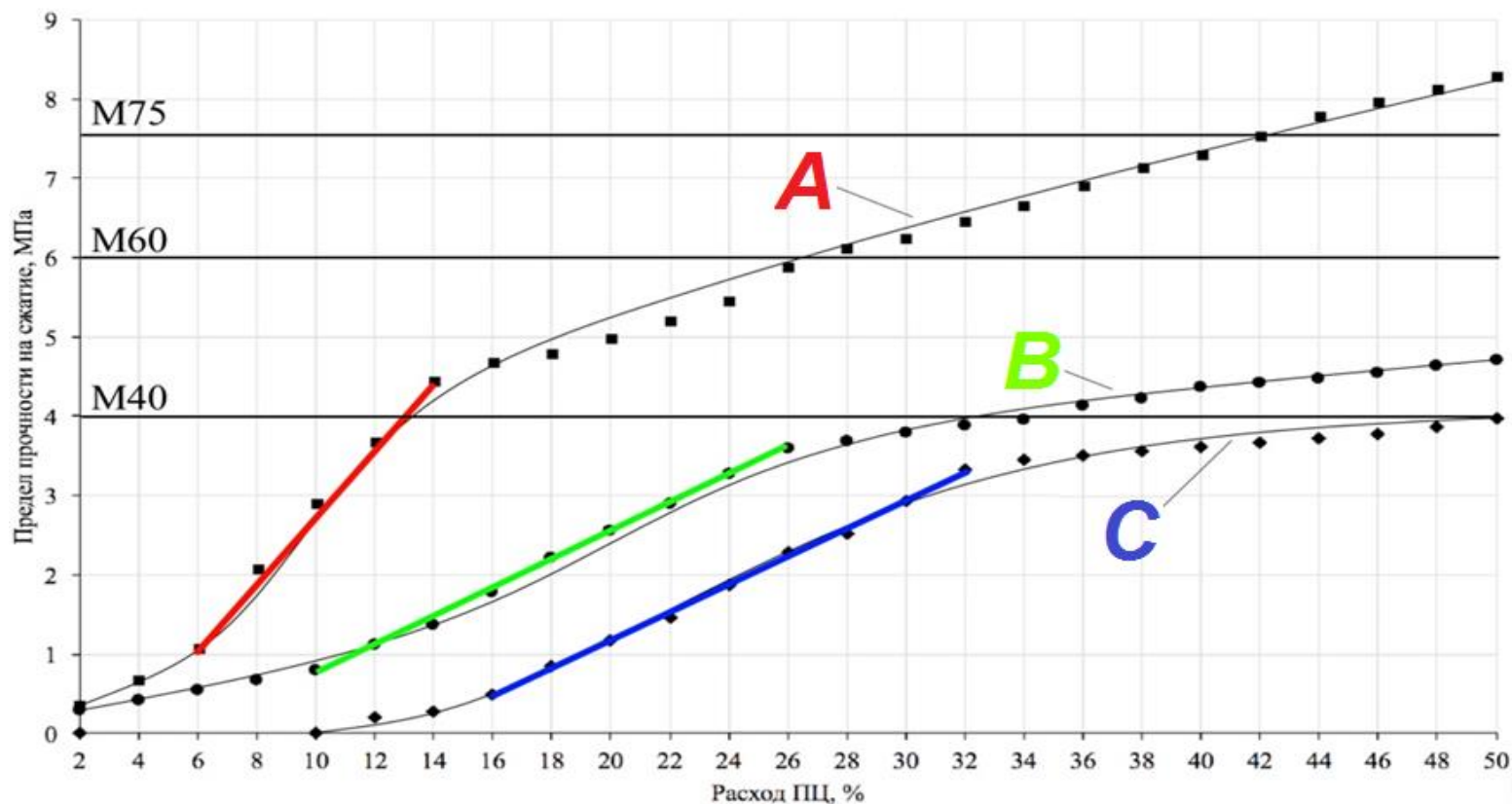


***В соответствии с Указом Президента Российской Федерации В. В. Путина***

***«О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» необходимо обеспечить увеличение доли автомобильных дорог регионального значения, соответствующих нормативным требованиям, в их общей протяженности не менее чем до 50%.***



## УКРЕПЛЕНИЕ ЦЕМЕНТОМ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ



**Зависимость предела прочности на сжатие глинистых грунтов:**

**А** - полиминеральная глина, **В** - каолинитовая глина, **С** - монтмориллонитовая глина

глинистая  
частица

$\text{H}^+$   
 $\text{H}^+$   
 $\text{Ca}^{2+}$

$+ 4\text{NaOH} \longrightarrow$

глинистая  
частица

$\text{Na}^+$   
 $\text{Na}^+$   
 $\text{Na}^+$   
 $\text{Na}^+$

$+ \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O}$

$$\begin{array}{ccc} \begin{array}{c} \text{R} \\ | \\ [-\text{Si}-\text{O}]_n \\ | \\ \text{OR}' \end{array} + \text{Ca}(\text{OH})_2 & \longrightarrow & \begin{array}{c} \text{R} \\ | \\ [-\text{Si}-\text{O}]_m \\ | \\ \text{O}-\text{Ca}- \end{array} + \text{R}'\text{OH} \end{array}$$

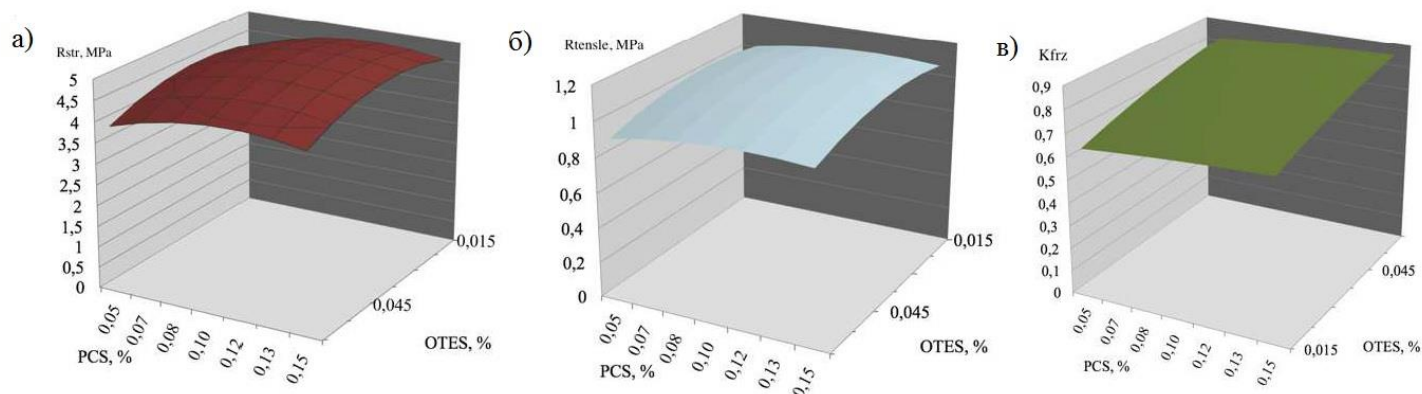
The diagram illustrates the structure of a montmorillonite layer. It consists of two silicate layers (Монтморилонитовый слой) separated by interlayer water (Межслоевая вода) and a polyglycol molecule (Полигликоль). The silicate layers are represented by a chain of silicon atoms (Si) connected by oxygen atoms (O), with negative charges (O<sup>-</sup>) on the oxygen atoms. The interlayer water is shown as a wavy blue line. The polyglycol molecule is shown as a chain of carbon atoms (CH<sub>2</sub>) connected by oxygen atoms (O), with negative charges (O<sup>-</sup>) on the oxygen atoms. The distance between the silicate layers is indicated as 1.77 nm. The interlayer water and polyglycol molecule act as bridge molecules between the silicate layers.

**Микроструктура сколов образцов**  
**а) цементогрунта без модификаторов,**  
**б) цементогрунта с комплексным модификатором**

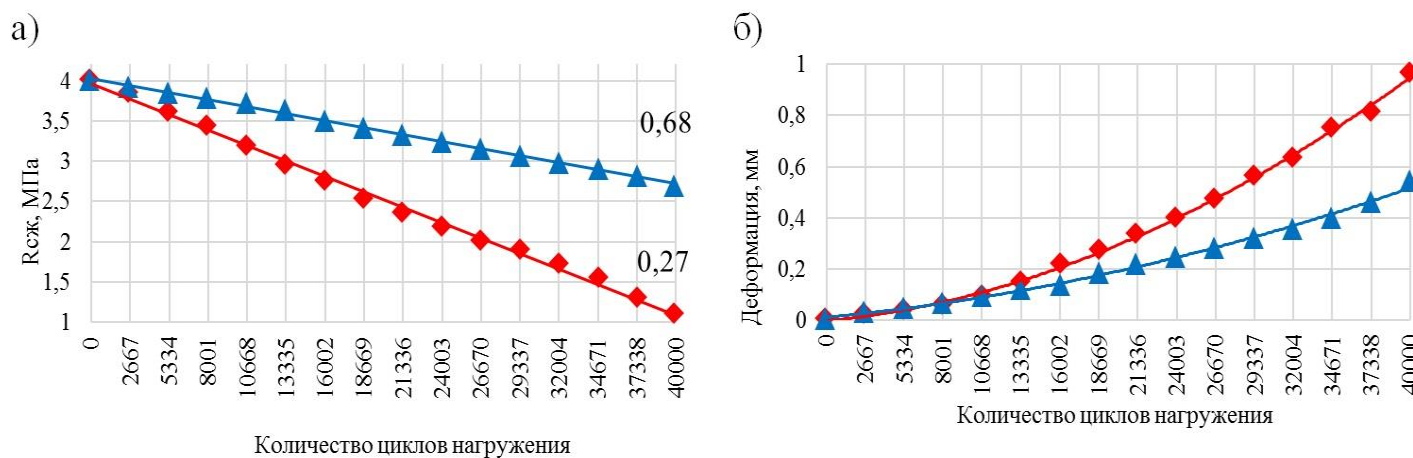


# ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – 2019

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЦЕМЕНТОГРУНТА



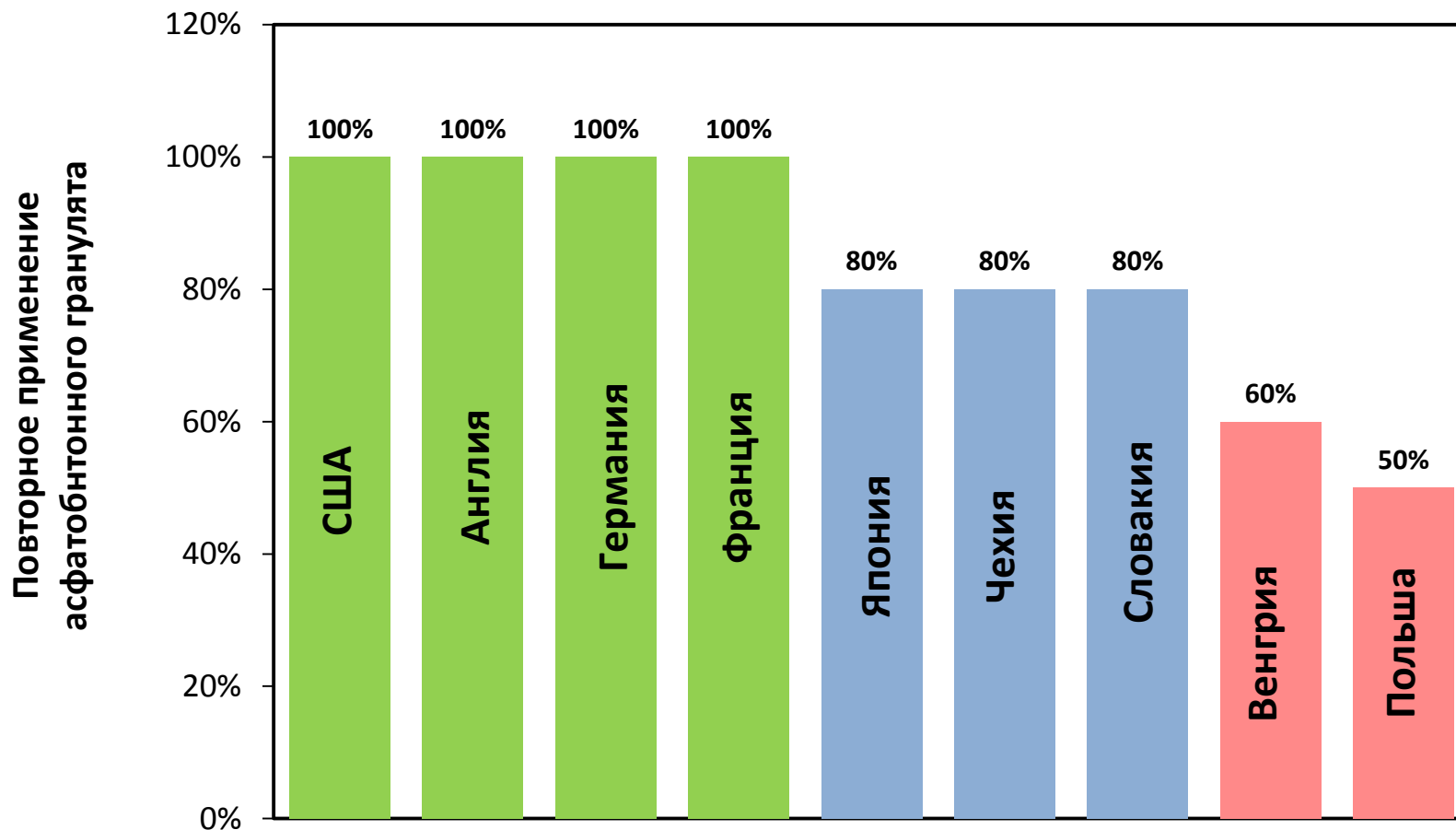
**Влияние состава комплексного модификатора на прочность и морозостойкость цементогрунта**  
а) прочность при сжатии, б) прочность на растяжение при изгибе, в) коэффициент морозостойкости



**Зависимость изменения прочности на сжатие и деформаций водонасыщенных образцов цементогрунта от числа приложений нагрузки**  
— цементогрунт; — цементогрунт с комплексной добавкой



## МИРОВАЯ ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА

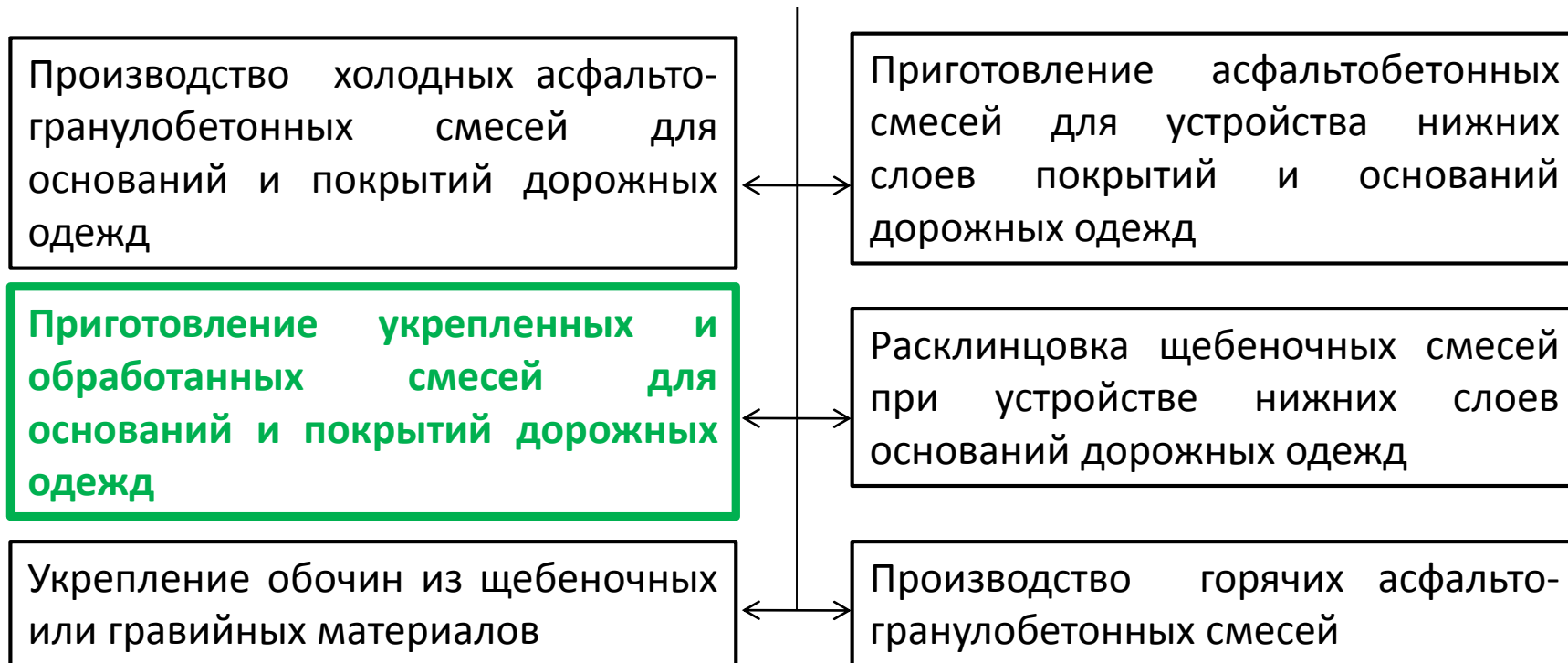






## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА

### АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТ





## ПРИГОТОВЛЕНИЕ УКРЕПЛЕННЫХ И ОБРАБОТАННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

**Песчано-гравийная смесь с добавлением асфальтогранулята,  
укрепленная комплексным вяжущим  
для устройства основания на автомобильной дороге в Тюлячинском районе Республики Татарстан**

Максимальная плотность, г/см<sup>3</sup> \_\_\_\_\_ 2,15

Оптимальная влажность, % \_\_\_\_\_ 5,50

### **РАСХОД МАТЕРИАЛОВ**

Обрабатываемый материал : Асфальтогранулят \_\_\_\_\_ 50%  
Обогащенная песчано-гравийная смесь \_\_\_\_\_ 50%  
Вяжущие: Портландцемент I 42,5Н \_\_\_\_\_ 3%  
Эмульсия ЭБК-3 \_\_\_\_\_ 3,33%  
Вода \_\_\_\_\_ 5,50%

### **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УКРЕПЛЕННОГО МАТЕРИАЛА**

Водонасыщение, % по объему \_\_\_\_\_ 8,52

Предел прочности при сжатии при температуре 20 С, МПа:

7 суток \_\_\_\_\_ 2,15

28 суток \_\_\_\_\_ 3,1

Предел прочности при сжатии при температуре 50, МПа

7 суток \_\_\_\_\_ 0,96

28 суток \_\_\_\_\_ 0,99

Водостойкость \_\_\_\_\_ 0,80

Водостойкость при длительном водонасыщении \_\_\_\_\_ 0,62





## ПРИГОТОВЛЕНИЕ УКРЕПЛЕННЫХ И ОБРАБОТАННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

**Щебеночно-гравийно-песчаная смесь с добавлением асфальтогранулята, обработанная цементом  
для устройства нижнего слоя основания примыканиях автомобильных дорог Республика Татарстан**

Максимальная плотность, г/см<sup>3</sup> \_\_\_\_\_ 2,20

Оптимальная влажность, % \_\_\_\_\_ 6,0

### РАСХОД МАТЕРИАЛОВ

Обрабатываемый материал:	Асфальтогранулят _____	30%
	Песчано-гравийная смесь _____	50%
	Песок из отсева дробления фр.0-10 М400 _____	20%
Вяжущие:	Портландцемент I 42,5Н _____	6,4%
	Вода _____	6,0 %
Химическая добавка:	ЛСТ от массы цемента _____	1,0 %

### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАБОТАННОГО МАТЕРИАЛА

Средняя плотность, г/см<sup>3</sup> \_\_\_\_\_ 2,20

Предел прочности при сжатии, МПа:

7 суток \_\_\_\_\_ 4,45

28 суток \_\_\_\_\_ 6,2

Марка по прочности \_\_\_\_\_ М60

Предел прочности при изгибе, МПа

28 суток \_\_\_\_\_ 1,22

Марка по морозостойкости \_\_\_\_\_ F 50

*«Развитие технологии укрепления грунтов минеральными вяжущими  
материалами в дорожном строительстве» Секция 9*

**ПРИГОТОВЛЕНИЕ УКРЕПЛЕННЫХ И ОБРАБОТАННЫХ СМЕСЕЙ  
ДЛЯ ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД****Песок с добавлением асфальтогранулята, укрепленный цементом  
для устройства основания на автомобильной дороге в Новошешминском районе**Максимальная плотность, г/см<sup>3</sup> \_\_\_\_\_ 2,10

Оптимальная влажность, % \_\_\_\_\_ 7,0

**РАСХОД МАТЕРИАЛОВ**

Обрабатываемый материал: Асфальтогранулят \_\_\_\_\_ 15%  
Песок \_\_\_\_\_ 85%

Вяжущие: Портландцемент I 42,5Н \_\_\_\_\_ 6,0%  
Вода \_\_\_\_\_ 7,0 %

Модифицирующая добавка: Вариант 1: Гидрофобизатор Типром-К от массы смеси \_\_\_\_\_ 0,01 %  
Вариант 2: Активированная известково-песчаная смесь от массы смеси \_\_\_\_\_ 2,5%  
Вариант 3: Активированная доломито-песчаная смесь от массы смеси \_\_\_\_\_ 2,5%  
Вариант 4: Фиброволокно от массы смеси \_\_\_\_\_ 0,5%

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УКРЕПЛЕННОГО МАТЕРИАЛА**

	<u>Вариант 1</u>	<u>Вариант 2</u>	<u>Вариант 3</u>	<u>Вариант 4</u>
Предел прочности при сжатии, МПа:				
7 суток _____	3,62	3,12	3,19	3,42
28 суток _____	5,3	4,8	4,9	5,5
Марка по прочности _____	M40	M40	M40	M40
Предел прочности при изгибе, МПа				
28 суток _____	0,92	0,90	0,89	0,95
Марка по морозостойкости _____	F 25	F 25	F 25	F 25



## АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА В НОВОШЕШМИНСКОМ РАЙОНЕ



Распределение песка автогрейдером



Подвоз асфальтогранулята погрузчиком



Распределение асфальтогранулята автогрейдером



Розлив воды поливовой машиной (раствор гидрофобизатора для участка 1)



Распределение цемента цементораспределителем



Распределение фиброволокна автогрейдером (участок 2)





## АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА В НОВОШЕШМИНСКОМ РАЙОНЕ



Внесение активированных минеральных наполнителей, распределение автогрейдером (участок 3,4)



Смешение компонентов ресайклером с последующим уплотнением катком



Планировка готовой смеси



Уплотнение готовой смеси



Розлив битумной эмульсии автогудронатором



Укладка асфальтобетона



## Мониторинг экспериментальных участков



**Отбор проб на экспериментальных участках**



**Определение прогибов  
(модуля упругости) на  
экспериментальных участках**





**Физико-механические характеристики образцов, отобранных из конструкции дорожной одежды на экспериментальных участках опытно-производственного внедрения результатов исследований (после 28 суток твердения)**



**Автомобильная дорога в Новошешминском районе**

<b>Материал</b>	<b>Предел прочности на сжатие, МПа</b>	<b>Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа</b>	<b>Марка по прочности</b>	<b>Марка по морозостойкости</b>
Модифицированная* смесь укрепленного песка с добавлением асфальтогранулята	5,42	0,91	M40	F25
	5,33	0,86	M40	F25
	5,16	0,88	M40	F25

\*данные представлены для модификатора - кремнийорганическая жидкость Типром-К



## «РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД СЕЛЬСКИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ УКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОВ И ОБРАБОТАННЫХ МАТЕРИАЛОВ»



Проект направлен на **увеличение**  
**объемов строительства сельских**  
**автомобильных дорог с**  
**применением местных**  
**минеральных материалов:**  
**укрепленных грунтов,**  
**обработанных малопрочных**  
**каменных материалов и отходов**  
**промышленности Республики**  
**Татарстан**





## ОБЪЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ

- в 2013 году 4 экспериментальных участка в Нурлатском районе Республики Татарстан;
- в 2015 году 3 экспериментальных участка в Лаишевском районе Республики Татарстан;
- в 2015 году экспериментальный участок на Акташском АБЦ в Республике Татарстан;
- в 2016 году экспериментальный участок в Азнакаевском районе Республики Татарстан;
- в 2017 году экспериментальный участок в Азнакаевском районе Республики Татарстан;
- в 2018 году 5 экспериментальных участка в Новошешминском районе Республики Татарстан



## АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА В НУРЛАТСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН



Отбор проб с экспериментальных участков автомобильной дороги



Состояние экспериментальных участков автомобильной дороги (апрель 2014 г.)



Состояние экспериментальных участков автомобильной дороги (ноябрь 2015 г.)



Образец-кern из покрытия экспериментального участка автомобильной дороги

### Участок 1

Гидрофобизатор ГЖ-11К – кремнийорганическая добавка алкилсиликонат щелочного металла

### Участок 2-3

Гидрофобизатор ГФС – добавка на основе кремнийорганического соединения полиорганосилоксан и электролита



Физико-механические характеристики образцов, отобранных  
из конструкции дорожной одежды на экспериментальных участках  
(после осенне-зимне-весеннего периода)

**АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА В НУРЛАТСКОМ РАЙОНЕ РТ**

Материал	Предел прочности на сжатие, МПа	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	Марка по прочности	Марка по морозо- стойкости
Модифицированная смесь с участка №2	4,11	0,82	M40	F25
	4,34	0,81	M40	F25
	4,22	0,85	M40	F25



**АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА  
АКТАШСКОГО АБЦ  
В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН**



**АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА  
В АЗНАКАЕВСКОМ РАЙОНЕ  
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**



**Материал: органоминеральная смесь на основе местного минерального сырья и твердого нефтяного шлама**





## АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА В АЗНАКАЕВСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН



**Материал: органоминеральная смесь на основе местного минерального сырья и твердого нефтяного шлама**



## АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА В ЛАИШЕВСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН



Отбор проб с экспериментальных участков автомобильной дороги



Состояние экспериментальных участков автомобильной дороги (июнь 2016 г.)



Состояние экспериментальных участков автомобильной дороги (декабрь 2016 г.)



Образец-кern из покрытия экспериментального участка автомобильной дороги

**Гиперпластификатор Одолит-К** - высокоэффективный концентрат пластификаторов 1-ой группы на основе эфиров поликарбоксилатов (0,6% от массы цемента)

**Гидрофобизатор Типром-С** – кремнийорганическая добавка алкилсиликонат щелочного металла (0,09% от массы цемента)



**Физико-механические характеристики образцов, отобранных  
из конструкции дорожной одежды на экспериментальных участках  
(после осенне-зимне-весеннего периода)**

**АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА В ЛАИШЕВСКОМ РАЙОНЕ РТ**

<b>Материал</b>	<b>Предел прочности на сжатие, МПа</b>	<b>Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа</b>	<b>Марка по прочности</b>	<b>Марка по морозо- стойкости</b>
Модифицированная смесь	4,52	0,85	M40	F25
	4,37	0,87	M40	F25
	4,66	0,89	M40	F25



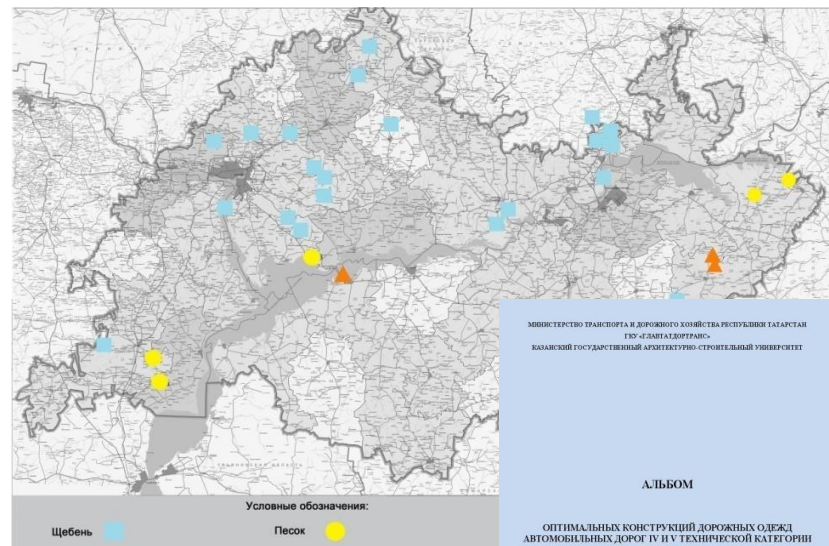


## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА



Совместно с Министерством транспорта и дорожного хозяйства РТ, ГКУ «Главтатдортранс»:

- Исследованы грунты и материалы карьеров местного минерального сырья РТ (щебень, песок, ПГС). Определены их свойства и пригодность для дорожных одежд;
- Разработаны оптимальные составы цементогрунтов с добавками на основе гидрофобных и гидрофильных ПАВ и полимеров, электролитов, активированных минеральных наполнителей, фиброволокон. В качестве гранулометрических добавок применены местные минеральные материалы (песок, ПГС, карбонатный щебень) с действующих карьеров и асфальтобетонный гранулят;
- Разработан **Альбом** конструкций дорожных одежд сельских автомобильных дорог с применением в качестве слоев основания обработанных и модифицированных местных минеральных материалов;
- Выполнено **строительство 14 экспериментальных участков автомобильных дорог в Республике Татарстан**, с осуществлением **мониторинга** в 2013-2018 г.г. Запланировано дальнейшее внедрение в рамках дорожных работ на 2019 г.



Агрызский район		Дорожная одежда		Толщины слоев		Варианты	
Вид группы	Карьеры	Конструкция	IV категория*	V категория**	IV категория*	V категория**	Варианты
1	2	3	4	5	6	7	8
Песок средней крупности	Отсутствуют		$h_{d1} = 5 \text{ см}$ $h_{d2} = 6 \text{ см}$ $h_{d3} = 29 \text{ см}$ $h_{d4} = 30 \text{ см}$	$h_{d1} = 4 \text{ см}$ $h_{d2} = 6 \text{ см}$ $h_{d3} = 16 \text{ см}$ $h_{d4} = 30 \text{ см}$	B1		
					B2		
					B3	10	100
					B4	10	100
					B5	10	100
					B6	10	100
					B7	8	80
					B8	8	100
					B9	-	-

\* коэффициент надежности - 0,70; интенсивность для V категории - не более 100 авто/сут

\*\* коэффициент надежности - 0,80; интенсивность для IV категории - не более 400 авто/сут

\*\*\* расход цемента и минеральных добавок от массы грунта, в %; расход полимерных добавок, в % от общей массы

Щ - щебень карбонатный; АГ - асфальтогранулят; АПМ - алмазноабразивный песчаный металл; ПГС - поликристаллический; КХТ - каменный хлористый; СН - силикат натрия; ЛСТ - литоинертный



ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – 2019



КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Применение укрепленных грунтов в конструкциях дорожных одежд  
Республики Татарстан

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

***Проректор по НИР,  
заведующий кафедрой «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»  
к.т.н., доцент                      Вдовин Евгений Анатольевич***

*Круглый стол «Развитие технологии укрепления грунтов минеральными вяжущими  
материалами в дорожном строительстве»    Секция 9*