

Министерство образования и науки РФ  
СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Индекс УДК 624.138

№ государственной регистрации

Инвентарный № \_\_\_\_\_



«УТВЕРЖДАЮ»  
Проректор по научной работе  
д-р биол. наук

  
Б.Ю.Филиппов

**ОТЧЕТ**

**о результатах научно-исследовательской работы по сравнению  
в лабораторных условиях опытных образцов с целью выявления  
наиболее оптимального материала для стабилизации грунтов**

Шифр темы 400/08

Ответственный исполнитель



Д.А. Тюрин

Руководитель НИР



А.Л. Невзоров

Нормоконтроль



А.В. Гурьев

Архангельск, 2017 г.

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы,  
д-р техн. наук, профессор,  
заведующий кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов САФУ



А.Л. Невзоров

---

подпись, дата

Ответственный исполнитель,  
ассистент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов САФУ



Д.А. Тюрин

---

подпись, дата

## РЕФЕРАТ

Отчет 42 с., 27 рис., 9 табл., 9 источников, 1 прил.

### СТАБИЛИЗАТОРЫ, МОДИФИКАТОРЫ, ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ, ЦЕМЕНТАЦИЯ, МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

Объектом исследования являются песчаные и глинистые грунты, закреплённые цементом с использованием различных добавок.

Цель работы - выявление наиболее оптимального состава для стабилизации грунтов.

В процессе работы были изготовлены образцы грунтов, закреплённых цементом с применением двух стабилизаторов и одного модификатора, и выполнены их испытания для определения прочности на сжатие и морозостойкости. В качестве исходных характеристик исследованных грунтов определены: гранулометрический состав, показатели пластичности, оптимальная влажность и максимальная плотность. Выполнено экономическое сравнение применения добавок.

В результате испытаний закреплённых цементом образцов грунтов выявлена высокая эффективность модификатора ДорЦем ДС-1 по повышению прочности песчаных и глинистых грунтов, а также эффективность стабилизатора АНТ по повышению прочности глинистых и морозостойкости песчаных грунтов.

Основные технико-эксплуатационные показатели: высокая прочность и морозостойкость закреплённого грунта при меньших показателях расхода цемента.

По показателю экономической эффективности применения наилучшие результаты для песчаных грунтов продемонстрировал модификатор ДорЦем ДС-1, для глинистых ДорЦем ДС-1 и АНТ показали сопоставимые результаты. Применение стабилизатора Стабилар Е-95 экономически нецелесообразно.

Снижение расхода цемента способствует снижению общей стоимости закрепления грунта основания дорожного покрытия.

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ.....	2
РЕФЕРАТ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 СОСТАВ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ .....	6
2 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ .....	8
2.1 Определение оптимальной влажности и максимальной плотности .....	8
2.2 Определение вида глинистого грунта по числу пластичности .....	8
2.3 Гранулометрический анализ песчаных и глинистых грунтов .....	8
2.4 Определение прочности на сжатие образцов закреплённых грунтов ....	9
2.5 Определение морозостойкости образцов закреплённых грунтов .....	12
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ.....	14
3.1 Оптимальная влажность и максимальная плотность .....	14
3.2 Классификация глинистого грунта по числу пластичности .....	14
3.3 Гранулометрический анализ песчаных и глинистых грунтов .....	15
3.4 Определение прочности на сжатие образцов закреплённых грунтов ..	22
3.5 Определение морозостойкости образцов закреплённых грунтов .....	30
3.6 Определение прочности на сжатие образцов закреплённых грунтов с показателем влажности, отличным от оптимального .....	35
4 СРАВНЕНИЕ РАСХОДА И СТОИМОСТИ ДОБАВОК С УЧЁТОМ ЗАТРАТ НА ТРАНСПОРТИРОВКУ .....	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	41
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Аттестат подтверждения компетентности испытательной лаборатории .....	42

## ВВЕДЕНИЕ

Научно-исследовательская работа по сравнению в лабораторных условиях опытных образцов с целью выявления наиболее оптимального материала для стабилизации грунтов выполнялась согласно договору № 400/08 от 26.06.2017 г. между ГКУ Архангельской области «Дорожное агентство «Архангельскавтодор» (ЗАКАЗЧИК) и ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (ИСПОЛНИТЕЛЬ).

Исследования проводились в испытательной лаборатории грунтов и строительных материалов, имеющей Аттестат подтверждения компетентности № РОСДОР RU. 0032 ПК 00408 от 26.07.2017 года.

# 1 СОСТАВ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

В соответствии с техническим заданием ЗАКАЗЧИКА выполнены следующие работы:

- приготовлены образцы грунтов, закрепленных цементом с применением двух стабилизаторов и одного модификатора:
  - а) Стабилизатор «Стабилар Е-95» (производитель – ООО «Новые дороги», г. Воронеж);
  - б) Модификатор «ДорЦем ДС-1» (производитель – ООО «НПО «Металлургия-геотехнология», г. Москва);
  - в) Стабилизатор «АНТ» (производитель – ООО «АНТ-Инжиниринг», г. Волжский, Волгоградская область).
  
- выполнены испытания образцов грунта для определения следующих параметров:
  - а) прочность на сжатие в соответствии с ГОСТ 23558-94 и ГОСТ 10180-2012;
  - б) морозостойкость в соответствии с ГОСТ 23558-94 и ГОСТ 10060-2012;
  - в) показатели пластичности в соответствии с ГОСТ 5180-2015;
  - г) оптимальная влажность, максимальная плотность в соответствии с ГОСТ 22733-2016;
  - д) гранулометрический состав грунта в соответствии с ГОСТ 12536-2014.

Состав и объемы лабораторных испытаний образцов представлены в таблице

1.1.

Таблица 1.1 – Состав и объём лабораторных испытаний

№ п/п	Вид испытаний	Число образцов
1	Определение оптимальной влажности и максимальной плотности	6
2	Определение разновидности глинистого грунта по числу пластичности	5
3	Гранулометрический анализ песчаных и глинистых грунтов	10
4	Определение прочности на сжатие образцов закреплённых грунтов	88
5	Определение морозостойкости образцов закреплённых грунтов	24

## 2 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

### 2.1 Определение оптимальной влажности и максимальной плотности

Метод стандартного уплотнения заключается в установлении зависимости плотности скелета грунта (плотности грунта без учета поровой влаги) от его влажности при уплотнении в цилиндрической форме высотой  $(127,4 \pm 0,2)$  мм с внутренним диаметром  $(100,0 \pm 0,3)$  мм. Грунт нарушенного сложения высушивают и просеивают через сита с отверстиями диаметром 20 мм и 10 мм. В отобранную пробу грунта вводят рассчитанное количество воды и уплотняют 120 ударами груза, падающего с высоты 30 см (в три слоя по 40 ударов). При разгрузке формы из верхней, средней и нижней частей образца отбирают пробы на влажность. Проведя испытания при различной влажности, строят график зависимости плотности скелета грунта от влажности.

### 2.2 Определение вида глинистого грунта по числу пластичности

Границу текучести  $W_L$  определяют, как влажность грунтовой пасты, при которой балансирный конус погружается в нее под действием собственного веса на глубину 10 мм. Границу раскатывания (пластичности)  $W_P$  находят, как влажность пасты, при которой жгут диаметром 3 мм, начинает рассыпаться. Число пластичности  $I_P$  вычисляют по формуле  $I_P = W_L - W_P$ .

### 2.3 Гранулометрический анализ песчаных и глинистых грунтов

#### 2.3.1 Ситовый метод

При определении гранулометрического состава песка пробы просеивают через набор сит с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм. Через последнее сито просеивание ведут с промывкой водой.



### 2.3.2 Пипеточный метод

Образцы глинистых грунтов для дробления агрегатов мелких частиц подвергаются предварительной подготовке путем кипячения в присутствии диспергатора. Пробы суспензии отбирают с заданной глубины в определенное время с помощью пипетки, выпаривают на песчаной бане, высушивают до постоянной массы и взвешивают на аналитических весах.

### 2.4 Определение прочности на сжатие образцов закреплённых грунтов

Для изготовления образцов использовались песчаный и глинистый грунты, отобранные представителями Заказчика из карьера, находящегося рядом с автомобильной дорогой Архангельск-Белогорский-Пинега-Кимжа-Мезень (130 км), а также с дороги Архангельск-Онега (Приморский район).

Образцы диаметром 50 мм формуется в малом приборе СоюзДорНИИ уплотнением 20 ударами груза. Перед уплотнением грунт в гильзе прибора предварительно штыкуется не менее 10 раз.



Рисунок 2.1 – Малый прибор СоюзДорНИИ в разобранном виде



Рисунок 2.2 – Извлечение образца песчаного грунта



Рисунок 2.3 – Извлечение образца глинистого грунта

Необходимое количество воды в составе смеси определялось из условия достижения максимальной плотности при оптимальной влажности. В качестве вяжущего использовался портландцемент марки М400 ЦЕМ II/A-П 32,5 Н (Мордовцемент). Дозировка цемента принималась 4, 8 и 12 % от массы грунта, что соответствует рекомендациям производителей стабилизаторов и модификатора. Дозировка стабилизаторов и модификатора назначалась в соответствии с документацией заводов-производителей.

Готовые образцы в течение 28 суток хранились в условиях нормального твердения. Перед испытанием образцы погружались в воду на 48 ч. На первом этапе их заливали водой на 1/3 высоты, а через 6 ч - полностью и выдерживали 42 ч.

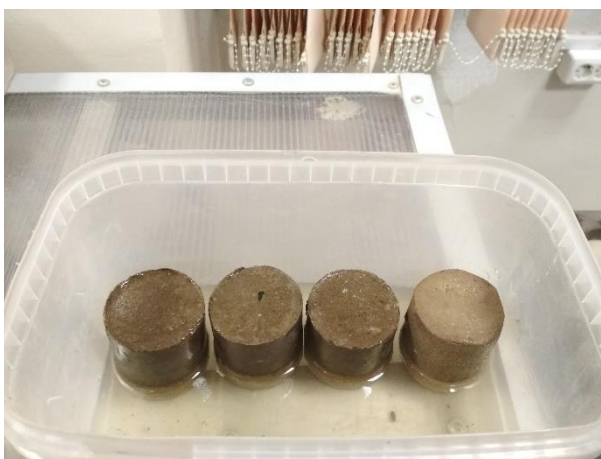


Рисунок 2.4 – Хранение образцов на первом этапе подготовки к испытанию



Рисунок 2.5 – Хранение образцов на втором этапе подготовки к испытанию

Перед испытанием каждый образец измерялся штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Определение прочности на сжатие проводилось на прессе при скорости перемещения плиты 3 мм/мин. Разрушающая нагрузка определялась с точностью до 0,001 кН.



Рисунок 2.6 – Характерные разрушения образцов

## 2.5 Определение морозостойкости образцов закреплённых грунтов

Морозостойкость определялась на образцах, закрепленных цементом в количестве 8%, с двумя стабилизаторами и модификатором. Формование и хранение образцов выполнялись согласно методике, приведенной в п. 2.4 данного отчёта.

Перед испытанием на морозостойкость образцы насыщались водой. Промораживание осуществлялось при температуре  $-22^{\circ}\text{C}$  в течение 4 часов, оттаивание – в воде при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$  в течение 4 часов.

После 15 циклов замораживания-оттаивания образцы испытывались на прессе для определения предела прочности на сжатие.



Рисунок 2.7 – Образцы в климатической камере после очередного цикла промораживания



Рисунок 2.8 – Образцы после 15 циклов промораживания-оттаивания



Рисунок 2.9 – Характерные дефекты образцов после 15 циклов промораживания-оттаивания

Отношение прочности на сжатие после промораживания к исходной прочности образцов контрольной группы представляет собой коэффициент морозостойкости. В качестве контрольной группы использовались образцы, приготовленные и испытанные по методике, изложенной в п. 2.4.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

#### 3.1 Оптимальная влажность и максимальная плотность

Результаты определения оптимальной влажности и максимальной плотности представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Оптимальная влажность и максимальная плотность

Образец	Грунт	Оптимальная влажность, %	Максимальная плотность, г/см <sup>3</sup>
1	Песчаный	11,3	1,88
2	Песчаный	11,5	1,84
3	Песчаный	10,9	1,86
4	Глинистый	15,4	1,61
5	Глинистый	14,8	1,63
6	Глинистый	14,9	1,66

#### 3.2 Классификация глинистого грунта по числу пластичности

Результаты определения числа пластичности и классификация образцов глинистого грунта приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Результаты определения числа пластичности

Образец	Влажность на границе пластичности, %	Влажность на границе текучести, %	Число пластичности	Наименование грунта по ГОСТ 25100-2011
1	14,6	15,8	1,2	Супесь
2	14,8	15,8	1,0	Супесь
3	15,0	16,2	1,2	Супесь
4	15,0	16,8	1,8	Супесь
5	14,7	16,3	1,6	Супесь

### 3.3 Гранулометрический анализ песчаных и глинистых грунтов

Выполнены испытания 5 образцов песчаного (образцы 1...5) и 5 образцов глинистого грунта (образцы 5...10).

Результаты определения гранулометрического состава представлены в таблице 3.3, а также на рисунках 3.1...3.10.

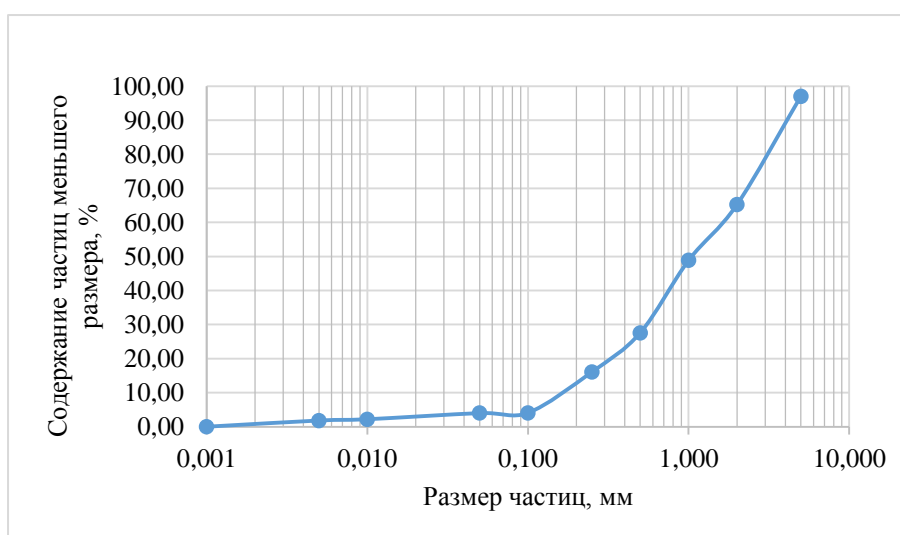


Рисунок 3.1 – График гранулометрического состава образца 1 (песчаный грунт)

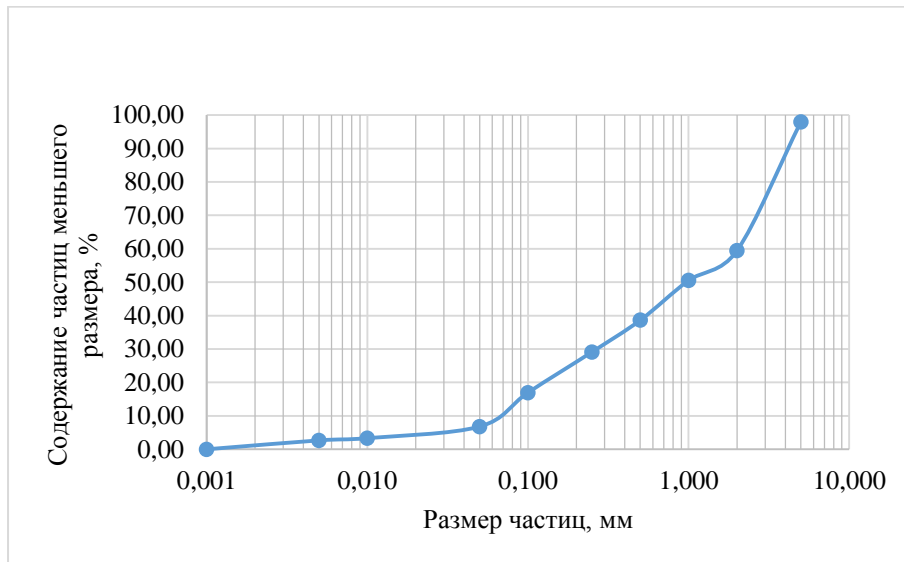


Рисунок 3.2 – График гранулометрического состава образца 2 (песчаный грунт)

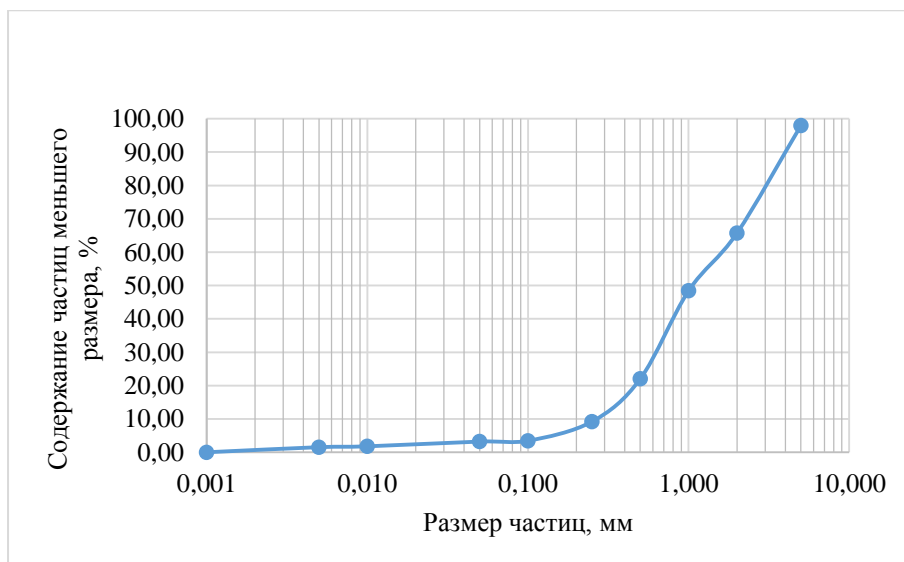


Рисунок 3.3 – График гранулометрического состава образца 3 (песчаный грунт)



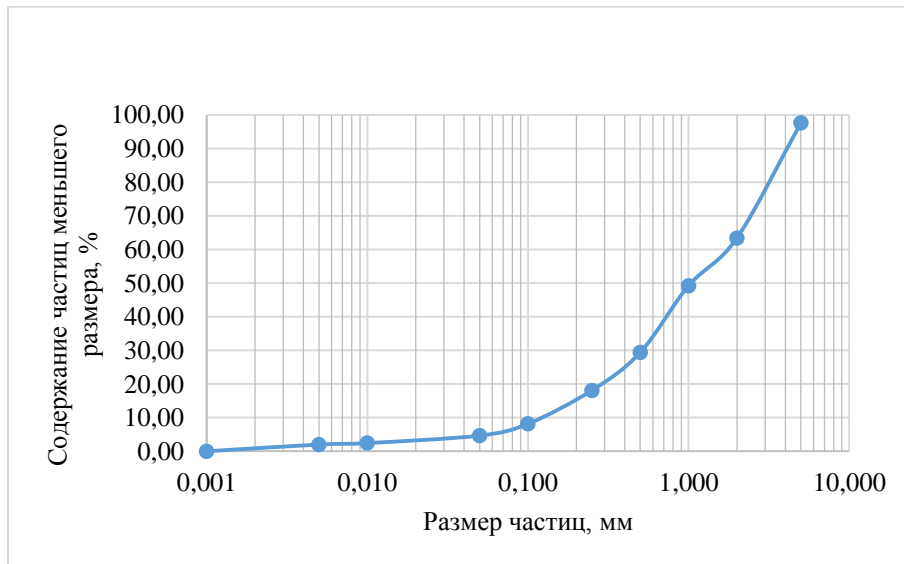


Рисунок 3.4 – График гранулометрического состава образца 4 (песчаный грунт)

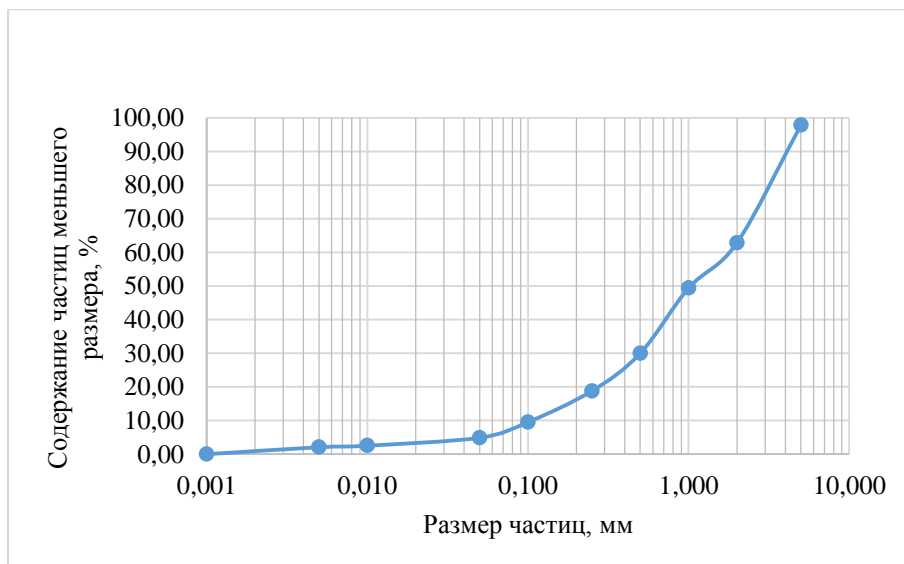


Рисунок 3.5 – График гранулометрического состава образца 5 (песчаный грунт)

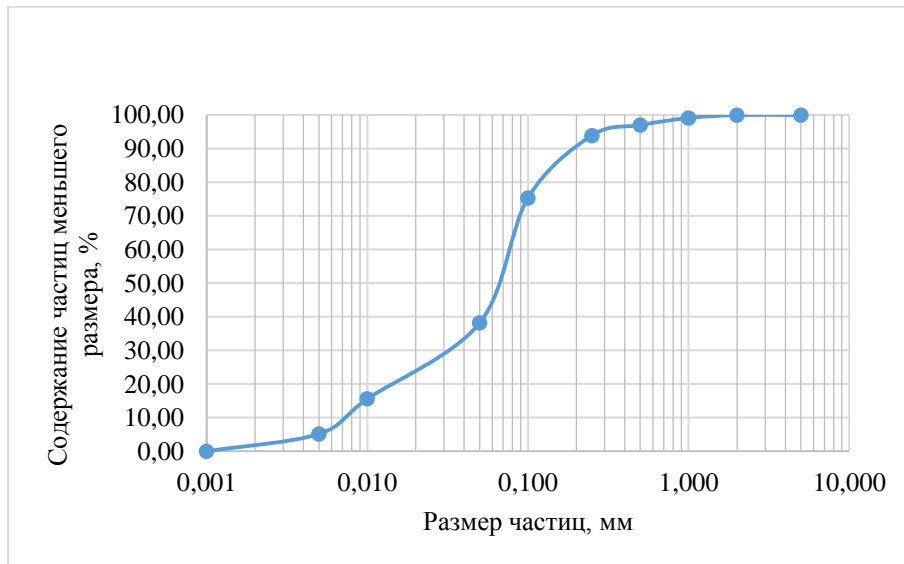


Рисунок 3.6 – График гранулометрического состава образца 6 (глинистый грунт)

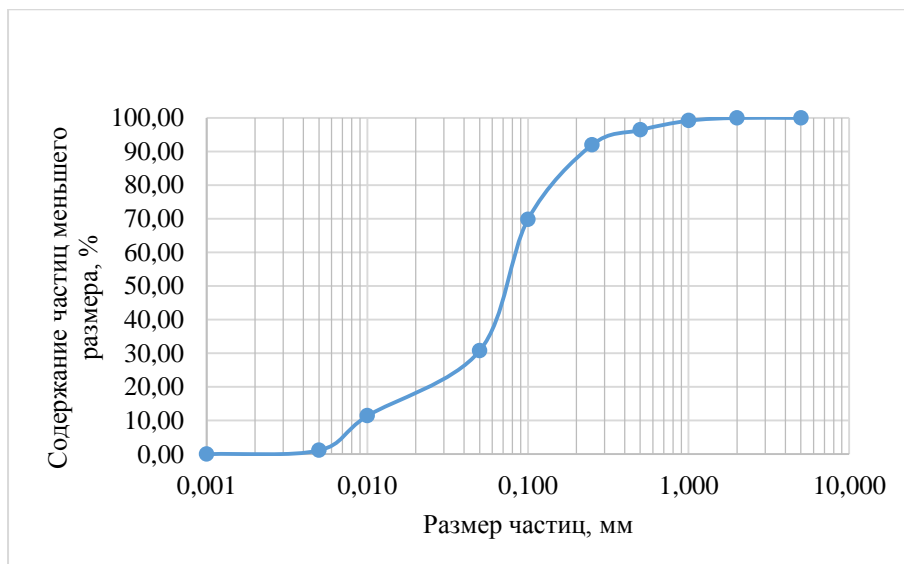


Рисунок 3.7 – График гранулометрического состава образца 7 (глинистый грунт)

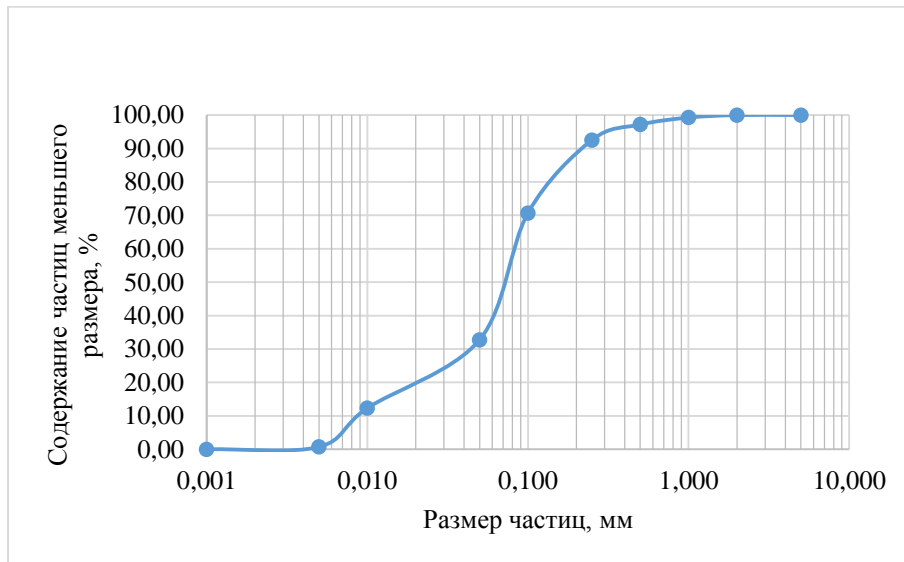


Рисунок 3.8 – График гранулометрического состава образца 8 (глинистый грунт)

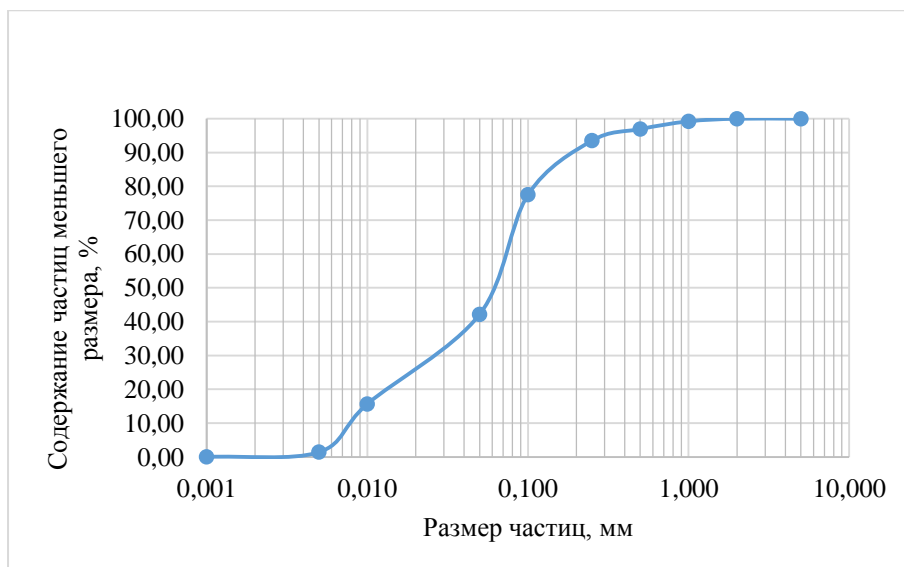


Рисунок 3.9 – График гранулометрического состава образца 9 (глинистый грунт)

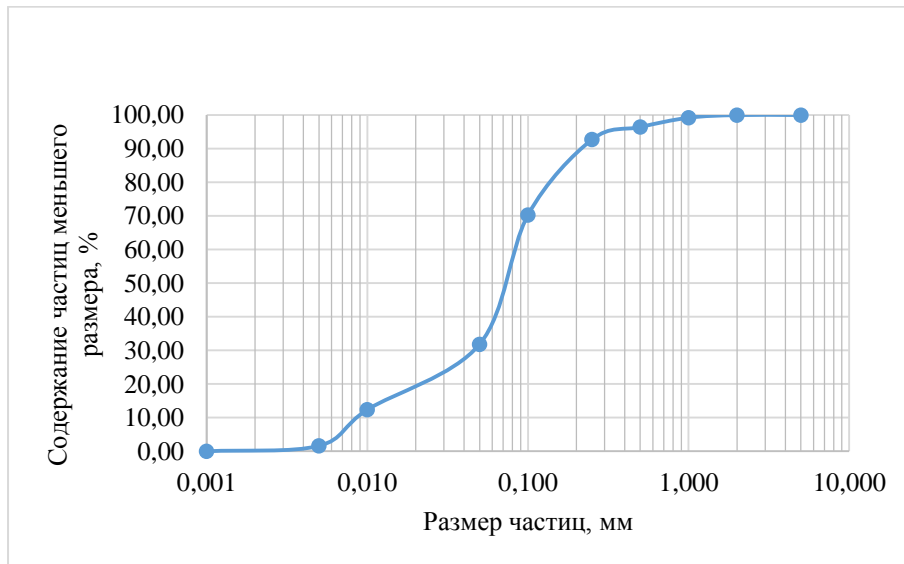


Рисунок 3.10 – График гранулометрического состава образца 10  
(глинистый грунт)

Таблица 3.3 – Результаты определения гранулометрического состава грунтов

Номер пробы	Содержание частиц (%) размером, мм										Наименование грунта по ГОСТ 25100-2011
	10-5	5-2	2-1	1 – 0,5	0,5 – 0,25	0,25 – 0,1	0,1 – 0,05	0,05 – 0,01	0,01 – 0,005	<0,005	
1	2,98	31,82	16,36	21,26	11,50	12,00	0,08	1,80	0,37	1,83	Песок крупный
2	2,02	38,54	8,92	11,90	9,52	12,14	10,17	3,45	0,67	2,67	Песок крупный
3	2,06	32,24	17,28	26,42	12,82	5,72	0,25	1,42	0,26	1,53	Песок крупный
4	2,35	34,20	14,19	19,86	11,28	9,95	3,50	2,22	0,43	2,01	Песок крупный
5	2,14	34,99	13,46	19,39	11,21	9,27	4,64	2,36	0,45	2,07	Песок крупный
6	0,00	0,00	0,87	2,10	3,11	18,58	37,19	22,57	10,43	5,15	Супесь песчанистая
7	0,00	0,00	0,82	2,78	4,44	22,16	39,06	19,36	10,25	1,13	Супесь песчанистая
8	0,00	0,00	0,75	2,09	4,63	21,83	37,93	20,44	11,63	0,71	Супесь песчанистая
9	0,00	0,00	0,77	2,29	3,45	15,99	35,35	26,48	14,25	1,42	Супесь песчанистая
10	0,00	0,00	0,79	2,77	3,75	22,43	38,42	19,46	10,77	1,61	Супесь песчанистая

### 3.4 Определение прочности на сжатие образцов закреплённых грунтов

Результаты определения прочности закреплённых грунтов на сжатие представлены в таблице 3.4 и на рисунках 3.11, 3.12.

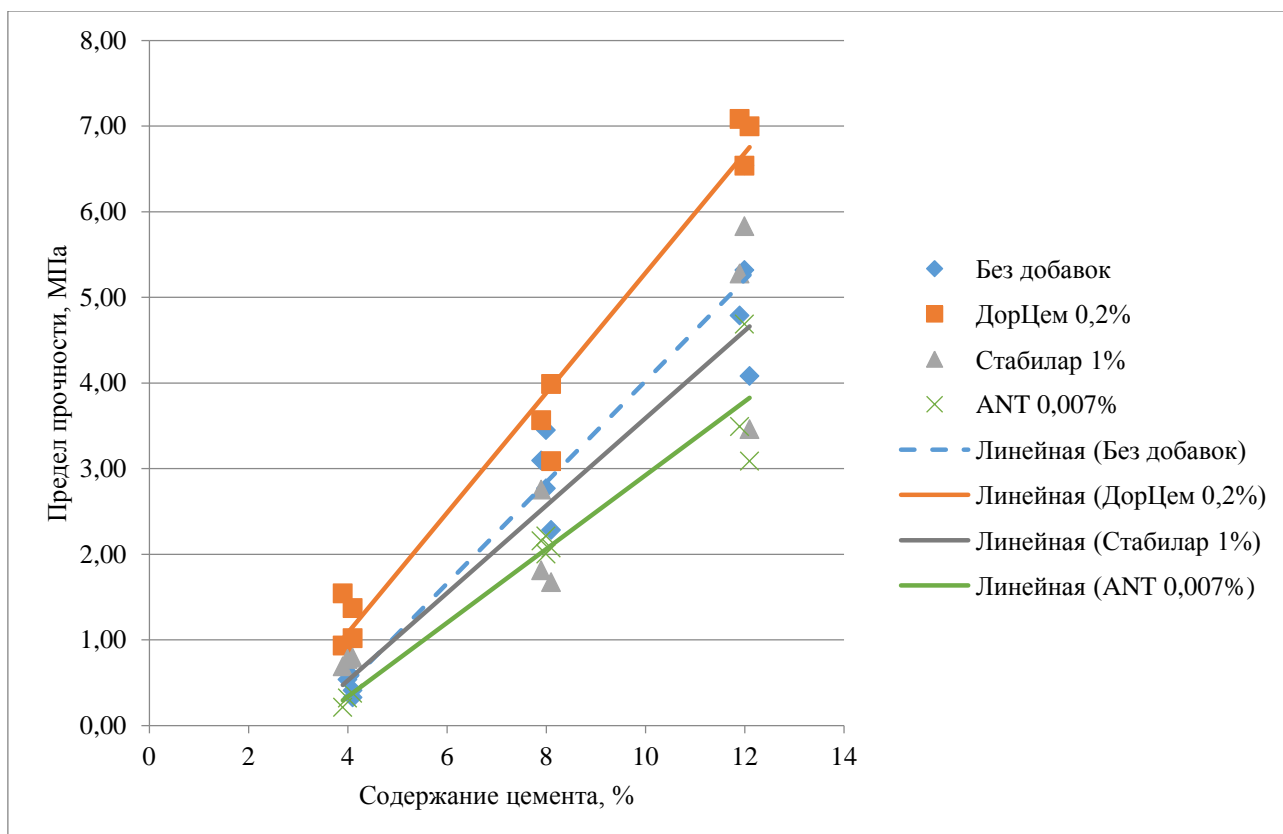


Рисунок 3.11 – Прочность на сжатие образцов крупного песка, закреплённого цементом, с использованием и без использования различных добавок

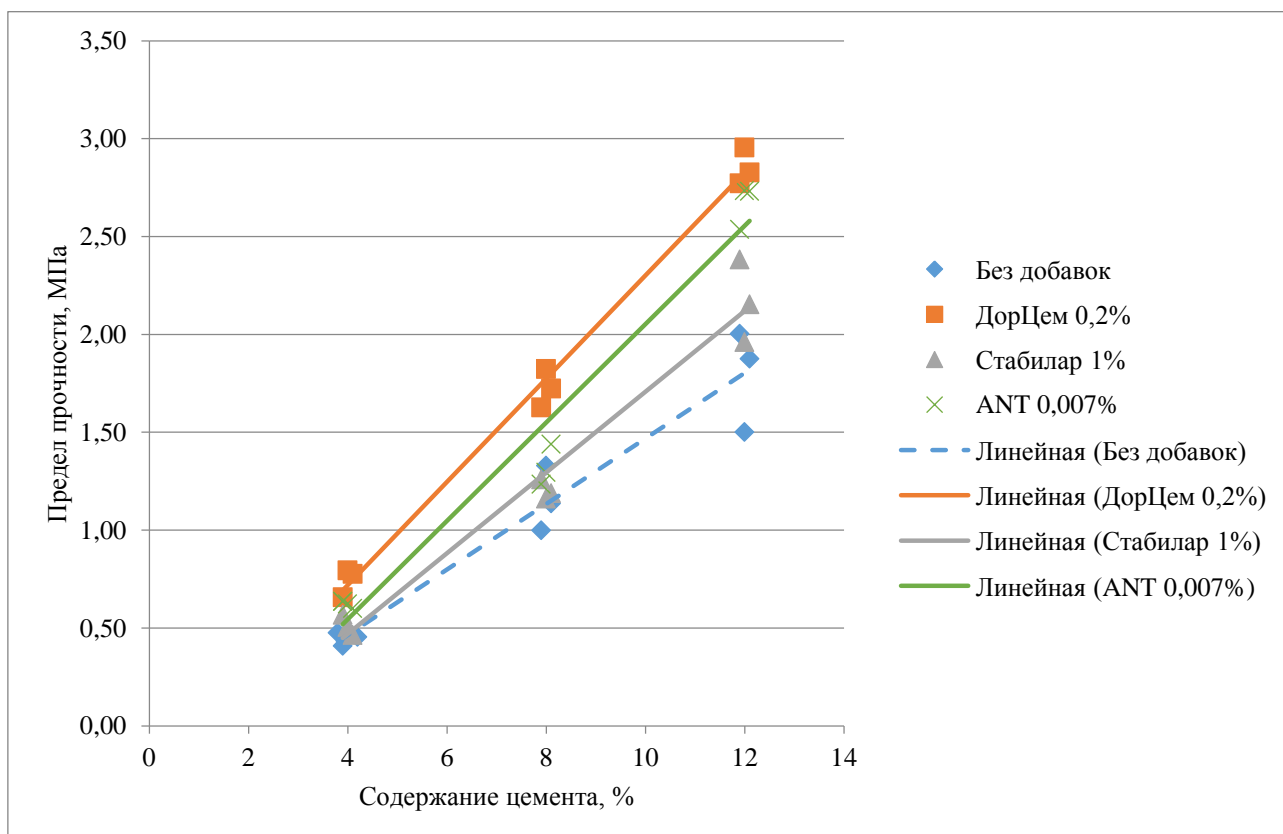


Рисунок 3.12 – Прочность на сжатие образцов супеси, закрепленной цементом, с использованием и без использования различных добавок

Анализ графиков позволяет сделать следующие заключения:

- Крупный песок
  - а) Закрепление цементом в количестве 4-12% привело к формированию структурных связей, обеспечивающих прочность образцов на сжатие 0,45...5,15 МПа.
  - б) Добавка ANT привела к снижению прочности на 27...33%.
  - в) Добавка Стабилар Е-95 не оказала существенного влияния на прочность.
  - г) Добавка ДорЦем ДС-1 способствовала существенному повышению прочности закрепленного грунта: при содержании цемента 4% – практически в 2 раза, при большем содержании цемента – на 21...34%.

– Песчанистая супесь

- а) Закрепление цементом в количестве 4-12 % привело к формированию структурных связей, обеспечивающих прочность образцов на сжатие 0,45...1,79 МПа.
- б) Добавка АНТ привела к повышению прочности на 39...49%.
- в) Добавка Стабилар Е-95 привела к повышению прочности на 21% при содержании цемента 12%. При меньшем содержании цемента указанная добавка не оказала существенного влияния на прочность.
- г) Добавка ДорЦем ДС-1 способствовала повышению прочности закрепленного грунта на 49...66%.



Таблица 3.4 – Результаты определения прочности закреплённых грунтов на сжатие

Образец	Грунт	Влажность, %	Цемент, %	Добавка, вид, %	Разрушающая сила, кН	Диаметр образца, см	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Предел прочности, МПа
1	Песок	11	4	-	0,661	5,10	20,43	0,32
2	Песок	11	4	-	1,292	5,15	20,83	0,62
3	Песок	11	4	-	0,869	5,20	21,24	0,41
4	Песок	11	8	-	4,569	5,05	20,03	2,28
5	Песок	11	8	-	6,318	5,10	20,43	3,09
6	Песок	11	8	-	6,903	5,05	20,03	3,45
7	Песок	11	12	-	8,332	5,10	20,43	4,08
8	Песок	11	12	-	9,584	5,05	20,03	4,78
9	Песок	11	12	-	13,355	5,10	20,43	6,54
10	Супесь	15	4	-	0,912	5,05	20,03	0,46
11	Супесь	15	4	-	0,852	5,15	20,83	0,41
12	Супесь	15	4	-	0,993	5,15	20,83	0,48
13	Супесь	15	8	-	2,349	5,13	20,67	1,14
14	Супесь	15	8	-	2,040	5,10	20,43	1,00
15	Супесь	15	8	-	2,715	5,10	20,43	1,33
16	Супесь	15	12	-	3,907	5,15	20,83	1,88
17	Супесь	15	12	-	4,254	5,20	21,24	2,00

Продолжение таблицы 3.4

18	Супесь	15	12	-	2,948	5,00	19,63	1,50
19	Песок	11	4	ДорЦем 0,2%	2,040	5,05	20,03	1,02
20	Песок	11	4	ДорЦем 0,2%	3,087	5,05	20,03	1,54
21	Песок	11	4	ДорЦем 0,2%	2,729	5,04	19,95	1,37
22	Песок	11	12	ДорЦем 0,2%	14,010	5,05	20,03	6,99
23	Песок	11	12	ДорЦем 0,2%	14,179	5,05	20,03	7,08
24	Песок	11	12	ДорЦем 0,2%	12,933	5,02	19,79	6,53
25	Песок	11	4	Стабилар 1%	1,593	5,07	20,19	0,79
26	Песок	11	4	Стабилар 1%	1,393	5,08	20,27	0,69
27	Песок	11	4	Стабилар 1%	1,565	5,07	20,19	0,78
28	Песок	11	12	Стабилар 1%	6,978	5,07	20,19	3,46
29	Песок	11	12	Стабилар 1%	10,693	5,08	20,27	5,28
30	Песок	11	12	Стабилар 1%	11,814	5,08	20,27	5,83
31	Супесь	15	4	Стабилар 1%	0,950	5,10	20,43	0,47
32	Супесь	15	4	Стабилар 1%	1,123	5,02	19,79	0,57
33	Супесь	15	4	Стабилар 1%	1,013	5,05	20,03	0,51
34	Супесь	15	12	Стабилар 1%	4,350	5,07	20,19	2,15
35	Супесь	15	12	Стабилар 1%	4,756	5,04	19,95	2,38
36	Супесь	15	12	Стабилар 1%	3,882	5,02	19,79	1,96

Продолжение таблицы 3.4

37	Супесь	15	4	АНТ 0,007%	1,211	5,07	20,19	0,60
38	Супесь	15	4	АНТ 0,007%	1,268	5,04	19,95	0,64
39	Супесь	15	4	АНТ 0,007%	1,243	5,04	19,95	0,62
40	Супесь	15	12	АНТ 0,007%	5,450	5,04	19,95	2,73
41	Супесь	15	12	АНТ 0,007%	5,080	5,05	20,03	2,54
42	Супесь	15	12	АНТ 0,007%	5,542	5,08	20,27	2,73
43	Супесь	15	4	ДорЦем 0,2%	1,531	5,01	19,71	0,78
44	Супесь	15	4	ДорЦем 0,2%	1,316	5,05	20,03	0,66
45	Супесь	15	4	ДорЦем 0,2%	1,581	5,03	19,87	0,80
46	Супесь	15	12	ДорЦем 0,2%	5,619	5,03	19,87	2,83
47	Супесь	15	12	ДорЦем 0,2%	5,552	5,05	20,03	2,77
48	Супесь	15	12	ДорЦем 0,2%	5,898	5,04	19,95	2,96
49	Песок	11	4	АНТ 0,007%	0,775	5,13	20,67	0,37
50	Песок	11	4	АНТ 0,007%	0,447	5,20	21,24	0,21
51	Песок	11	4	АНТ 0,007%	0,630	5,02	19,79	0,32
52	Песок	11	12	АНТ 0,007%	6,252	5,08	20,27	3,08
53	Песок	11	12	АНТ 0,007%	6,990	5,05	20,03	3,49
54	Песок	11	12	АНТ 0,007%	9,381	5,05	20,03	4,68
1'	Песок	11	4	-	1,068	5,05	20,03	0,53

Продолжение таблицы 3.4

4'	Песок	11	8	-	5,542	5,05	20,03	2,77
7'	Песок	11	12	-	10,650	5,05	20,03	5,32
19'	Песок	11	4	ДорЦем 0,2%	1,905	5,10	20,43	0,93
37'	Супесь	15	4	АНТ 0,007%	1,299	5,10	20,43	0,64
12'	Супесь	15	4	-	0,911	5,00	19,63	0,46
55	Песок	11	8	ДорЦем 0,2%	7,980	5,05	20,03	3,98
56	Песок	11	8	ДорЦем 0,2%	7,137	5,05	20,03	3,56
57	Песок	11	8	ДорЦем 0,2%	6,130	5,03	19,87	3,08
58	Супесь	15	8	ДорЦем 0,2%	3,453	5,05	20,03	1,72
59	Супесь	15	8	ДорЦем 0,2%	3,156	4,97	19,40	1,63
60	Супесь	15	8	ДорЦем 0,2%	3,654	5,05	20,03	1,82
61	Песок	11	8	Стабилар 1%	3,387	5,08	20,27	1,67
62	Песок	11	8	Стабилар 1%	3,655	5,07	20,19	1,81
63	Песок	11	8	Стабилар 1%	5,556	5,07	20,19	2,75
64	Супесь	15	8	Стабилар 1%	2,325	4,99	19,56	1,19
65	Супесь	15	8	Стабилар 1%	2,503	5,03	19,87	1,26
66	Супесь	15	8	Стабилар 1%	2,298	5,02	19,79	1,16
67	Песок	11	8	АНТ 0,007%	4,166	5,06	20,11	2,07
68	Песок	11	8	АНТ 0,007%	4,365	5,08	20,27	2,15

Продолжение таблицы 3.4

69	Песок	11	8	АНТ 0,007%	4,036	5,07	20,19	2,00
70	Супесь	15	8	АНТ 0,007%	2,861	5,03	19,87	1,44
71	Супесь	15	8	АНТ 0,007%	2,483	5,06	20,11	1,23
72	Супесь	15	8	АНТ 0,007%	2,563	5,02	19,79	1,29
73	Песок	16	8	ДорЦем 0,2%	1,884	5,14	20,75	0,91
74	Песок	16	8	ДорЦем 0,2%	2,103	5,10	20,43	1,03
75	Песок	16	8	ДорЦем 0,2%	2,490	5,05	20,03	1,24
76	Супесь	11	8	ДорЦем 0,2%	5,974	5,05	20,03	2,98
77	Супесь	11	8	ДорЦем 0,2%	6,324	5,00	19,63	3,22
78	Супесь	11	8	ДорЦем 0,2%	4,044	5,09	20,35	1,99
79	Супесь	20	8	ДорЦем 0,2%	2,811	5,15	20,83	1,35
80	Супесь	20	8	ДорЦем 0,2%	2,490	5,12	20,59	1,21
81	Супесь	20	8	ДорЦем 0,2%	2,121	5,14	20,75	1,02
67'	Песок	11	8	АНТ 0,007%	4,517	5,10	20,43	2,21

### 3.5 Определение морозостойкости образцов закреплённых грунтов

Результаты определения морозостойкости закреплённых грунтов представлены в таблице 3.5 и на рисунках 3.13...3.16.

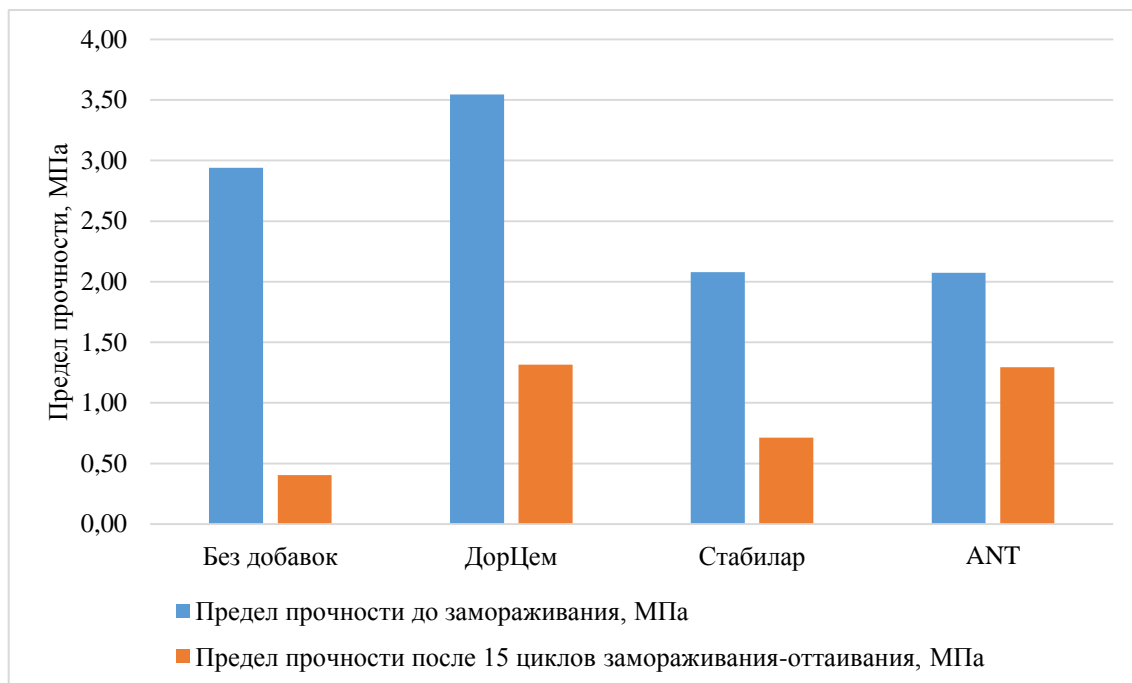


Рисунок 3.13 – Результаты испытаний образцов закреплённого крупного песка на морозостойкость

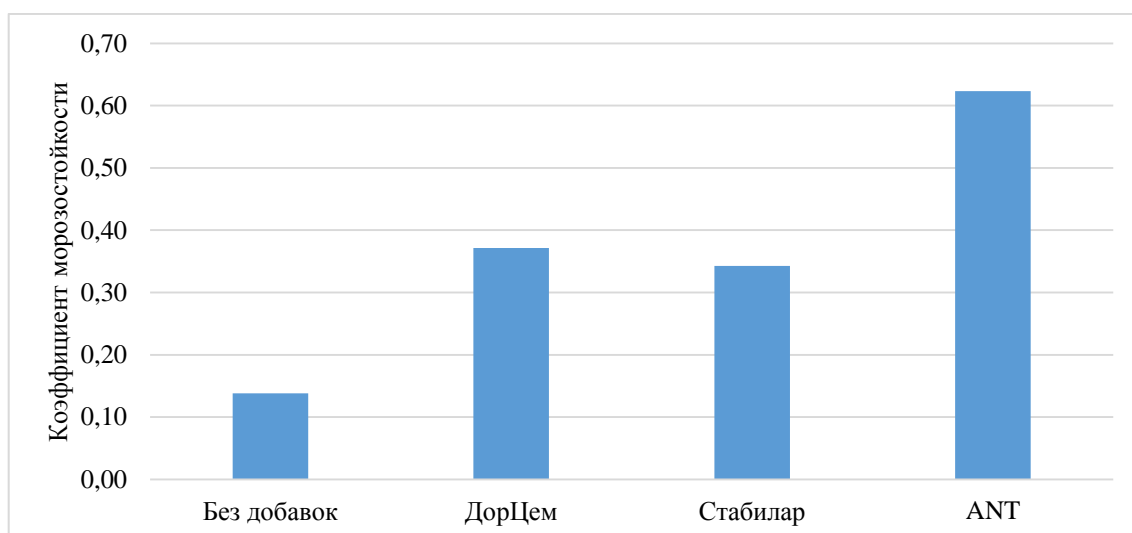


Рисунок 3.14 – Коэффициент морозостойкости образцов закреплённого крупного песка

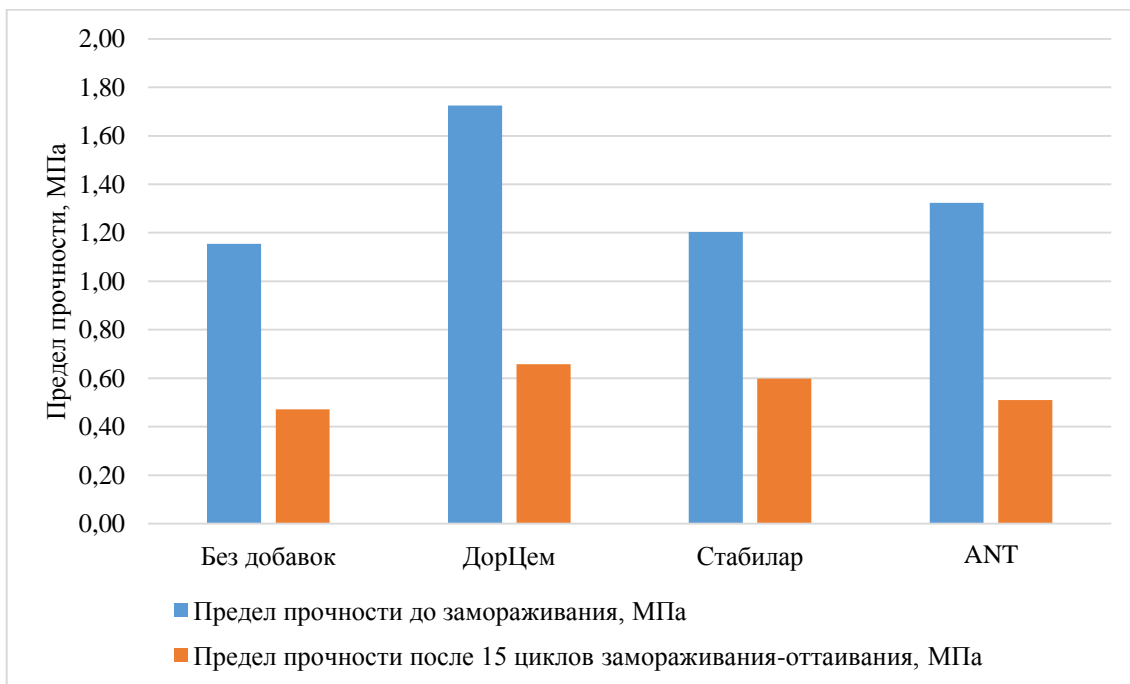


Рисунок 3.15 – Результаты испытаний образцов закреплённой песчанистой супеси на морозостойкость

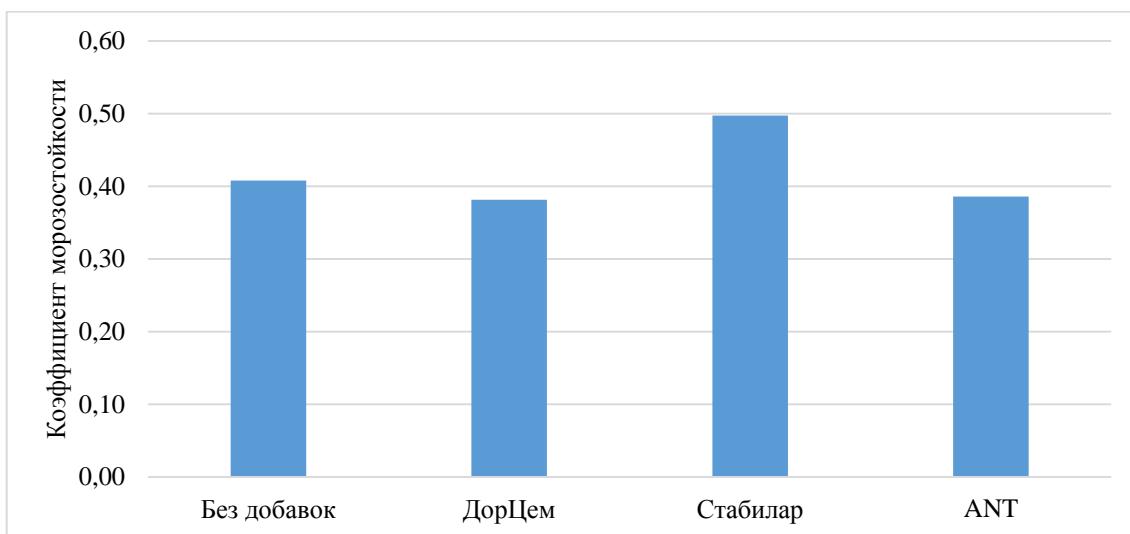


Рисунок 3.16 – Коэффициент морозостойкости образцов закреплённой песчанистой супеси

Анализ графиков позволяет сделать следующие заключения:

– Крупный песок

- а) Наилучшие результаты по абсолютному значению прочности на сжатие после 15 циклов замораживания-оттаивания продемонстрировали образцы с добавкой ДорЦем ДС-1 и с добавкой АНТ (1,29...1,32 МПа).
- б) Наилучший показатель по коэффициенту морозостойкости обеспечивается при использовании добавки АНТ – он составляет 0,62.
- в) Коэффициенты морозостойкости образцов при применении добавок Стабилар Е-95 и ДорЦем ДС-1 практически совпадают (0,34...0,37).

– Песчанистая супесь

- а) Абсолютное значение прочности на сжатие после 15 циклов замораживания-оттаивания очень незначительно различается в случае использования добавок и без них. Незначительный прирост прочности обеспечивает добавка ДорЦем ДС-1 (0,66 МПа).
- б) Наилучший показатель по коэффициенту морозостойкости обеспечивается при использовании добавки Стабилар Е-95 – он составляет 0,50.
- в) Коэффициенты морозостойкости образцов при применении добавок ДорЦем ДС-1, АНТ, а также в случае отсутствия добавки практически совпадают (0,38...0,41).



Таблица 3.5 – Результаты определения морозостойкости образцов закреплённого грунта

Образец	Грунт	Влажность, %	Цемент, %	Добавка, вид, %	Среднее значение предела прочности образцов аналогичного состава без замораживания, МПа	Предел прочности после 15 циклов замораживания-оттаивания, МПа
1м	Песок	11	8	-	2,28	0,38
2м	Песок	11	8	-	3,09	0,23
3м	Песок	11	8	-	3,45	0,61
4м	Супесь	15	8	-	1,14	0,46
5м	Супесь	15	8	-	1,00	0,28
6м	Супесь	15	8	-	1,33	0,67
7м	Песок	11	8	ДорЦем 0,2%	3,98	1,80
8м	Песок	11	8	ДорЦем 0,2%	3,56	0,83
9м	Песок	11	8	ДорЦем 0,2%	3,08	1,32
10м	Супесь	15	8	ДорЦем 0,2%	1,72	0,54
11м	Супесь	15	8	ДорЦем 0,2%	1,63	0,80
12м	Супесь	15	8	ДорЦем 0,2%	1,82	0,64
13м	Песок	11	8	Стабилар 1%	1,67	0,78
14м	Песок	11	8	Стабилар 1%	1,81	0,60
15м	Песок	11	8	Стабилар 1%	2,75	0,75

Продолжение таблицы 3.5

16м	Супесь	15	8	Стабилар 1%	1,19	0,35
17м	Супесь	15	8	Стабилар 1%	1,26	0,98
18м	Супесь	15	8	Стабилар 1%	1,16	0,47
19м	Песок	11	8	ANT 0,007%	2,07	1,38
20м	Песок	11	8	ANT 0,007%	2,15	1,27
21м	Песок	11	8	ANT 0,007%	2,00	1,23
22м	Супесь	15	8	ANT 0,007%	1,44	0,60
23м	Супесь	15	8	ANT 0,007%	1,23	0,67
24м	Супесь	15	8	ANT 0,007%	1,29	0,26

### 3.6 Определение прочности на сжатие образцов закреплённых грунтов с показателем влажности, отличным от оптимального

Для оценки последствий отклонения влажности грунта от оптимального значения были проведены дополнительные испытания серии образцов. Влажность песка была задана 16%, то есть несколько выше оптимального значения 11%. Влажность супеси 11 и 20%, то есть выше и ниже оптимального значения. Формовались и испытывались образцы закреплённых цементом грунтов без добавок и с добавкой, показавшей наилучший результат на предыдущей стадии – ДорЦем ДС-1.

Результаты испытаний приведены в таблице 3.4 (образцы 73...81). Сравнение с результатами испытаний образцов, имеющих оптимальную влажность, представлено на рисунках 3.17, 3.18.

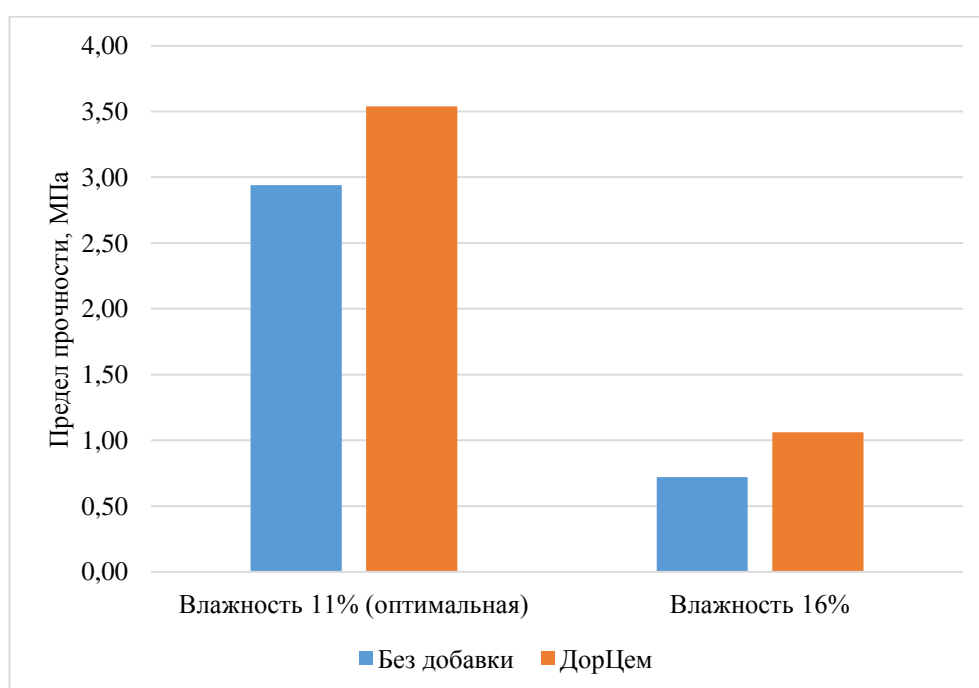


Рисунок 3.17 - Прочность образцов закреплённого крупного песка на сжатие при различных значениях влажности

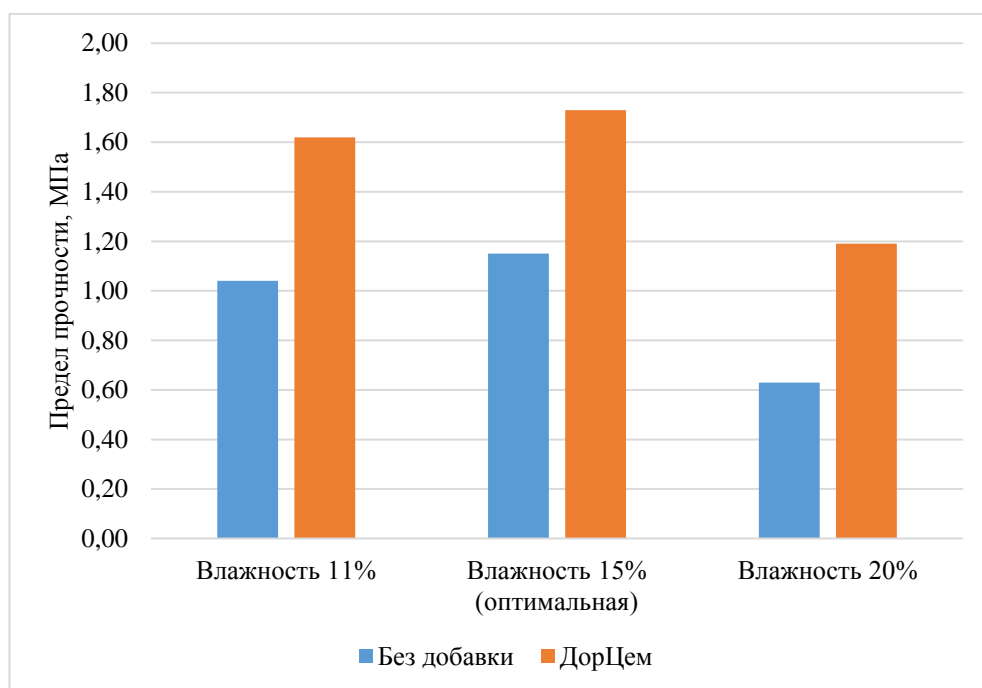


Рисунок 3.18 – Прочность образцов закреплённой супеси при различных значениях влажности

Анализ результатов позволяет сделать следующие заключения:

– Крупный песок:

Повышение исходной влажности на 5% привело к существенному снижению прочности на сжатие образцов закреплённого грунта – более, чем в 3,3 раза. Это объясняется тем, что избыточная поровая влага препятствует эффективному уплотнению грунта.

– Песчанистая супесь:

Снижение влажности в момент уплотнения на 4% мало влияет на значение прочности на сжатие, тогда как повышение влажности на 5% приводит к снижению прочности на 31%.

## 4 СРАВНЕНИЕ РАСХОДА И СТОИМОСТИ ДОБАВОК С УЧЁТОМ ЗАТРАТ НА ТРАНСПОРТИРОВКУ

В таблице 4.1 приведены данные по стоимости добавок с учётом доставки. Стоимость продукции задавалась по данным производителей, стоимость доставки - по данным транспортной компании «ПЭК». Стоимость доставки стабилизатора Стабилар Е-95 заложена производителем в стоимость продукции.

Таблица 4.1 – Стоимость добавок

Добавка	Единица измерения	Стоимость за единицу, руб	Стоимость доставки, руб	Общая стоимость единицы, руб
АНТ	л	2132,00	49,97	2181,97
ДорЦем ДС-1	т	260000,00	9090,00	269090,00
Стабилар Е-95	л	116,00	0,00	116,00

В таблицах 4.2 и 4.3 выполнено сравнение стоимости и расхода добавок на 1 м<sup>3</sup> исследованного грунта. Кроме того, представлен прирост прочности в абсолютных значениях по сравнению с вариантом закрепления песка и супеси цементом без применения добавок, а также относительная стоимость прироста прочности закреплённого грунта на 1 МПа при различном содержании цемента.

Таблица 4.2 – Сравнение стоимости и расхода добавок на 1 м<sup>3</sup> закреплённого песка

Добавка	Единица измерения	Общая стоимость единицы, руб	Расход на 1 м <sup>3</sup> грунта, ед. изм.	Стоимость добавки на 1 м <sup>3</sup> закреплённого цементом грунта, руб	Прирост прочности в сравнении с закреплением цементом без добавки, МПа		
					Относительная стоимость повышения прочности закреплённого грунта на 1 МПа, руб.		
					Содержание цемента		
				4%	8%	12%	
АНТ	л	2181,97	0,130	283,66	- —	- —	- —
ДорЦем ДС-1	т	269090,00	0,004	1001,01	<u>0,61</u> 1641,01	<u>1,04</u> 962,51	<u>1,48</u> 676,36
Стабилар Е-95	л	116,00	16,900	1960,40	<u>0,05</u> 39208,00	- —	- —

Примечание: прочерки в графах таблицы означают, что добавка не обеспечила прироста прочности в сравнении с закреплением цементом.

Таблица 4.3 – Сравнение стоимости и расхода добавок на 1 м<sup>3</sup> закреплённой супеси

Добавка	Единица измерения	Общая стоимость единицы, руб	Расход на 1 м <sup>3</sup> грунта, ед. изм.	Стоимость добавки на 1 м <sup>3</sup> закреплённого цементом грунта, руб	Прирост прочности в сравнении с закреплением цементом без добавки, МПа		
					Относительная стоимость повышения прочности закреплённого грунта на 1 МПа, руб.		
					Содержание цемента		
					4%	8%	12%
АНТ	л	2181,97	0,108	235,65	<u>0,08</u> 2945,66	<u>0,42</u> 561,08	<u>0,75</u> 314,20
ДорЦем ДС-1	т	269090,00	0,003	807,27	<u>0,25</u> 3229,08	<u>0,64</u> 1261,36	<u>1,02</u> 791,44
Стабилар Е-95	л	116,00	14,800	1716,80	<u>0,01</u> 171680,00	<u>0,16</u> 10730,00	<u>0,32</u> 5365,00

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

- Модификатор ДорЦем ДС-1 способствует существенному повышению прочности на сжатие как песчаного грунта, так и супеси, при значениях массовой доли цемента 4-12%. После 15 циклов промораживания-оттаивания грунт теряет в среднем 65% прочности.
- Стабилизатор Стабилар Е-95 повышает прочность на сжатие закрепленной цементом супеси при содержании цемента не менее 12%. При меньших концентрациях цемента, а также в песчаных грунтах малоэффективен.
- Стабилизатор АНТ повышает прочность на сжатие закрепленной цементом супеси. В песчаных грунтах эффективность не продемонстрировал. Достоинством стабилизатора является повышение морозостойкости закрепленного цементом песчаного грунта, прочность на сжатие, которого после 15 циклов промораживания-оттаивания оказалась на одном уровне с прочностью образцов, изготовленных с добавкой модификатора ДорЦем ДС-1.
- По показателю экономической эффективности применения наилучшие результаты для песчаных грунтов продемонстрировал модификатор ДорЦем ДС-1, для глинистых ДорЦем ДС-1 и АНТ показали сопоставимые результаты. Применение стабилизатора Стабилар Е-95 экономически нецелесообразно.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) ГОСТ 7.32-2001 СИБИД. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления (с Изменением N 1). – М.: Стандартинформ, 2006 год.
- 2) ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – М.: Стандартинформ, 2015 год.
- 3) ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Стандартинформ, 2016 год.
- 4) ГОСТ 12536-2014. Грунты. Метод лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Стандартинформ, 2015 год.
- 5) ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация (с Поправкой) – М.: Стандартинформ, 2013 год.
- 6) ГОСТ 22733-2016 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – М.: Стандартинформ, 2016 год.
- 7) ГОСТ 23558-94 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия (с Изменениями N 1, 2). – М.: Стандартинформ, 2005 год.
- 8) ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартинформ, 2013 год.
- 9) ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости (с Поправкой). – М.: Стандартинформ, 2014 год

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Аттестат подтверждения компетентности  
испытательной лаборатории

СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ В СФЕРЕ ДОРОЖНОГО  
ХОЗЯЙСТВА (СИСТЕМА «РОСДОРСТРОЙСЕРТИФИКАЦИЯ»)

Зарегистрирована в едином реестре зарегистрированных систем  
добровольной сертификации за № РОСС RU.3550.04XY00

**А Т Т Е С Т А Т**  
**ПОДТВЕРЖДЕНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ**  
**ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ**

№ РОСДОП RU. 0032 ПК 00408

Зарегистрирован в реестре 26 июля 2017 г.  
Действителен до 26 июля 2021 г.

Аттестат не действителен без отметки о подтверждении действия (см. на обороте)

**Руководящий орган Системы «Росдорстройсертификация»  
удостоверяет, что**

**испытательная лаборатория «Испытательная лаборатория  
грунтов и строительных материалов»  
(163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, 22)**

**ФГАОУ ВО «Северный (Арктический)  
Федеральный университет имени М.В. Ломоносова»  
(163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, 17)**

**соответствует требованиям к компетентности, предъявляемым  
ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009,**

**и подтверждает компетентность лаборатории в проведении испытаний в  
соответствии с прилагаемой областью подтверждения компетентности**

Область подтверждения компетентности приведена в приложении,  
являющемся неотъемлемой частью настоящего аттестата. Без данного  
приложения аттестат подтверждения компетентности не действителен.

Аттестат выдан на основании Отчета от 11 июля 2017 г. «Отчет комиссии  
Руководящего органа Системы «Росдорстройсертификация» по результатам  
оценки соответствия требованиям к компетентности (по ГОСТ ИСО/МЭК  
17025-2009) испытательной лаборатории «Испытательная лаборатория  
грунтов и строительных материалов» ФГАОУ ВО САФУ им. М.В. Ломоносова»  
и решения Руководящего органа Системы от 26 июля 2017 г. № ИЛ-21-пк.

Председатель  
Руководящего органа Системы «Росдорстройсертификация»

 С.А. Маринич

М.Ученый № ИЛ-0032

Копия аттестата, не заверенная Руководящим органом Системы «Росдорстройсертификация», является не действительной.