



ИОННЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ КАК СПОСОБ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Данная работа посвящена исследованию возможности применения стабилизатора «UNDERBOLD» для глинистых грунтов Вологодской области. Показано влияние стабилизатора на сохранение предела прочности на сжатие укрепленных грунтов, которое зависит от содержания глинистых частиц (вида грунта) и может достигать 30 % в случае применения рекомендуемой производителем технологии. Применение стабилизатора «UNDERBOLD» по предлагаемой нами технологии (обработка стабилизатором – высушивание – укрепление цементом) обеспечивает повышение прочности укрепленного грунта после водонасыщения до 2-х и более раз по сравнению с образцами без стабилизатора. Показано, что при проектировании дорожной одежды с использованием местных глинистых грунтов, укрепленных стабилизатором «UNDERBOLD», необходимо предусмотреть устройство водоизолирующей прослойки, а также необходимого водоотвода позволяющих повысить работоспособность конструктивного слоя. Отмечено, что данный стабилизатор не является реагентом, снижающим влияние морозного пучения.

Грунты, дорожная одежда, химический стабилизатор, укрепление грунтов, морозное пучение, прочность, водостойкость.

В последние десятилетия широко используются химические стабилизаторы для укрепления грунтов. Опыт применения данного способа укрепления показывает хорошие результаты: укрепленные грунты полностью исключают использование в основании дорожной одежды щебня и гравия. Вследствие этого экономия на материалах, горючем и рабочей силе достигает 50 % от стоимости всей автомобильной дороги [1, 2].

Принцип работы стабилизаторов грунта заключается в необратимом изменении физико-механических свойств грунта за счет химического воздействия раствора стабилизатора при его внесении в грунт. Воздействие происходит путем ионного замещения пленочной воды на поверхности глинистых и пылеватых частиц грунта молекулами модификатора. В результате чего глинистые частицы грунта становятся меньше, а грунт после уплотнения приобретает более высокую максимальную плотность, чем необработанный, при одинаковом количестве проходов катка. Кроме того, молекулы стабилизатора, которые прикрепляются к поверхности глинистой частицы, обладают водоотталкивающим действием, и частицы грунта теряют способность притягивать к своей поверхности пленочную воду. Улучшенный таким образом грунт становится более прочным и практически водонепроницаемым, что делает его устойчивым к воздействию любых климатических условий и способным воспринимать увеличенную полезную нагрузку даже в условиях длительных, обильных осадков.

Особенно эффективно использование модификатора для обработки пластичных и высокопластичных пучинистых глинистых грунтов. В результате обработки грунта стабилизатором вся пленочная вода с поверхности глинистых частиц переходит в грунте в свободное состояние и легко выводится из него, а степень пучения и набухания грунтов резко уменьшается, т.е. грунт фактически переводится в непучини-

стое состояние. На российском рынке предлагается большой выбор зарубежных и отечественных стабилизаторов. Это гидрофобизатор грунта LBS (компания «ENVIROSEAL», США), стабилизатор «ANT» (ЗАО «Агентство Новых Технологий», Россия), Консолид («CONSOLID AD», Швейцария), Roadbond EH-1 (США), Roadbond SPP (совместное производство России и Южно-Африканской Республики), RRP-235 Spezial (Германия), Terrastone (Германия), Дорзин (Украина) и другие.

Целью данной работы является исследование возможности применения стабилизатора «UNDERBOLD» для глинистых грунтов Вологодской области. Данный стабилизатор был разработан в Германии и успешно применяется во многих странах, где KaHel International является единственным обладателем лицензии на использование этой безвредной, защищенной немецкими патентами, известной и проверенной на практике технологии устройства дорог. Поэтому данное исследование представляется актуальным.

Для исследования стабилизатора «UNDERBOLD» служили 5 видов грунтов, отобранных из карьеров Вологодской области. Физические характеристики этих грунтов и степень пучинистости определялись в соответствии с нормативными требованиями (табл. 1, 2) [3, 4].

Таблица 1
Нормативные требования для грунта

Характеристики грунта	ГОСТ №
Влажность на границе раскатывания и текучести	5180-2015
Плотность твердых частиц	
Гранулометрический состав грунтов	12536-2014
Максимальная плотность и оптимальная влажность	22733-2016
Степень пучинистости	28622-2012

Таблица 2

Физические характеристики грунтов

Характеристики грунтов / № вида грунта	1	2	3	4	5
Влажность на границе раскатывания, д.е.	0,20	0,17	0,14	0,16	0,12
Влажность на границе текучести, д.е.	0,39	0,28	0,26	0,23	0,17
Число пластичности Ip, д.е.	0,19	0,11	0,12	0,07	0,05
Плотность частиц грунта, г/см ³	2,73	2,73	2,71	2,71	2,7
Максимальная плотность, г/см ³	2,2	2,03	2,01	2	2
Оптимальная влажность, д.е.	0,18	0,11	0,14	0,13	0,12
Относительная деформация морозного пучения, %	7,9	-	-	-	-

Подготовку отобранных грунтов к испытаниям выполняют в следующей последовательности:

1. Грунт доводится до воздушно-сухого состояния путем прогрева его в сушильном шкафу при температуре 105 °С. В процессе сушки грунт периодически перемешивают. Высушенный грунт должен иметь влажность, не превышающую значений, указанных в таблице 3.

Таблица 3

Значения влажности для грунтов

Грунты	Влажность грунта, %
Песок гравелистый, крупный и средней крупности	4
Песок мелкий и пылеватый	6
Супесь, суглинок легкий	6–8
Суглинок тяжелый, глина	10–12

2. Воздушно-сухой грунт, без нажима на него, растирают в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником с целью разъединения отдельных структурных агрегатов.

3. Высушенный и измельченный грунт тщательно перемешивают для достижения его однородности [5].

Для укрепления грунта принимался цемент марки 500 (ГОСТ 10178-85). Технология приготовления укрепленного неорганическим вяжущим грунта приведена в ГОСТ 23558-94 [6].

При использовании стабилизатора в эту технологию внесены изменения в соответствии с рекомендациями, содержащимися в сопроводительных к нему материалах. В этом случае технологические операции по укреплению цементом грунта с использованием стабилизатора выполнялись в следующей последовательности:

1. Приготовление водной эмульсии концентрата «UNDERBOLD» (3 части концентрата на 100 частей воды).

2. Подготовка навески грунта с оптимальной влажностью.

3. Добавка в подготовленную навеску грунта эмульсии «UNDERBOLD» в пропорции 50 л на 1 м³ грунта и тщательное перемешивание.

4. Выдерживание готовой смеси не менее 30 минут.

5. Внесение в подготовленную смесь вяжущего в количестве 5 % от объема грунта.

6. Уплотнение готовой смеси в формах при коэффициенте стандартного уплотнения 0,98.

7. Выдерживание образца в течение 28 суток и проведение испытаний.

Для исследования влияния стабилизатора «UNDERBOLD» на водонасыщение образцы укрепленного грунта взвешивались перед водонасыщением (после набора прочности в течение 28 суток) и после водонасыщения (в течение 48 часов). Водонасыщение определялось алгебраической разницей масс до водонасыщения и после. Среднее водонасыщение определялось как среднее для серии из трех образцов.

Для определения среднего расчетного сопротивления определялись площадь сечения кубика в см² и выдерживаемая нагрузка в кН при испытании на гидравлическом прессе водонасыщенных образцов. Среднее расчетное сопротивление в МПа определялось как среднее для серии из трех образцов.

Все полученные экспериментальные результаты для анализа сведены в единую таблицу 4.

Таблица 4

Результаты экспериментальных исследований грунта

№ вида грунта	образца	компоненты			среднее расчетное сопротивление, МПа	среднее водонасыщение, %
		Ip, д.е.	вяжущее	стабилизатор		
1	1, 2, 3	0,19	Ц 5 %	2 %	1,371	0,156
1	7, 8, 9	0,19	Ц 5 %	-	1,083	0,354
3	4, 5, 6	0,12	Ц 5 %	2 %	0,716	0,259
3	10, 11, 12	0,12	Ц 5 %	-	0,653	0,229
2	13, 14, 15	0,11	Ц 5 %	2%	1,002	0,586
2	16, 17, 18	0,11	Ц 5 %	-	0,916	0,494
4	19, 20, 21	0,07	Ц 5 %	2 %	1,072	0,478
4	22, 23, 24	0,07	Ц 5 %	-	1,677	0,628
5	25, 26, 27	0,05	Ц 5 %	-	1,931	0,436
5	28, 29, 30	0,05	Ц 5 %	2 %	2,277	0,261
3	31, 32, 33	0,12	Ц 7,5 %	-	1,107	0,197
3	34, 35, 36	0,12	Ц 7,5 %	2 %	1,298	0,261
3	37, 38, 39	0,12	Ц 10 %	-	1,346	0,230
3	40, 41, 42	0,12	Ц 10 %	2 %	1,838	0,228
3	43, 44, 45	0,12	Ц 5 %	4 %	0,605	0,365
3	52, 53, 54	0,12	Ц 5 %	6 %	0,635	0,303
3	55, 56, 57	0,12	Ц 5 %	2 %	1,420	0,293

Как видно из таблицы, прочность повысилась после обработки стабилизатором практически у всех образцов (исключением является суглинок с числом пластичности 7). Наибольшая разница между средними расчетными сопротивлениями обработанного и необработанного грунтов получилась у супеси (0,346 МПа) и у глины (0,288 МПа). У суглинков разница не такая большая, но все же есть. У суглинка с числом пластичности 12 она составляет 0,063 МПа, а у суглинка с числом пластичности 10,5 – 0,086 МПа.

У глины, обработанной стабилизатором, водонасыщение уменьшилось в два раза. Также водонасыщение уменьшилось у суглинка с числом пластичности 7 на 0,15 % и у супеси на 0,175 %. У суглинков с числом пластичности 12 и 11 водонасыщение увеличилось на 0,03 и 0,092 % соответственно.

На диаграмме (рис. 1) приведены экспериментальные результаты влияния различного количества вяжущего на прочность укрепленного грунта.

Отчетливо видно, что прочность увеличивается с увеличением процентного содержания в укрепленном

грунте цемента. Так разница между средними расчетными сопротивлениями образцов грунта, обработанного стабилизатором и не обработанных, с содержанием вяжущего равным 5 % составляет 0,063 МПа, 7,5 % – 0,191 МПа, а 10 % – 0,492 МПа.

Таким образом, можно с уверенностью констатировать, что с увеличением количества вяжущего растет и показатель прочности грунта.

Результаты влияния различного количества стабилизатора «UNDERBOLD» на прочность укрепленного грунта приведены на рисунке 2.

С увеличением количества стабилизатора в два и в три раза среднее расчетное сопротивление грунта падает. При количестве стабилизатора 2 % от массы грунта прочность увеличивается на 0,063 МПа, а при 4 и 6 % падает на 0,048 и 0,018 МПа соответственно. Следовательно, необходимо строго придерживаться рекомендуемой технологии и выдерживать концентрацию стабилизатора, которую указывает держатель патента-лицензии.

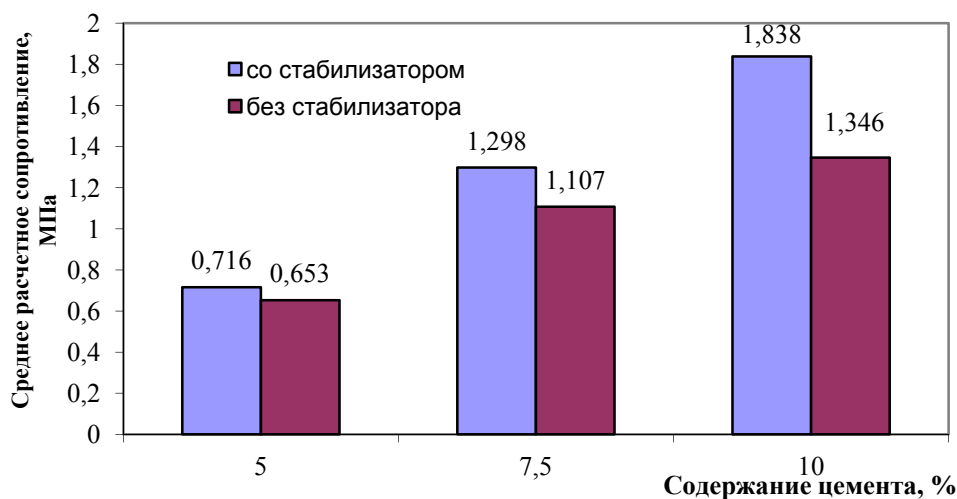


Рис. 1. Экспериментальные результаты влияния различного количества вяжущего на прочность укрепленного грунта

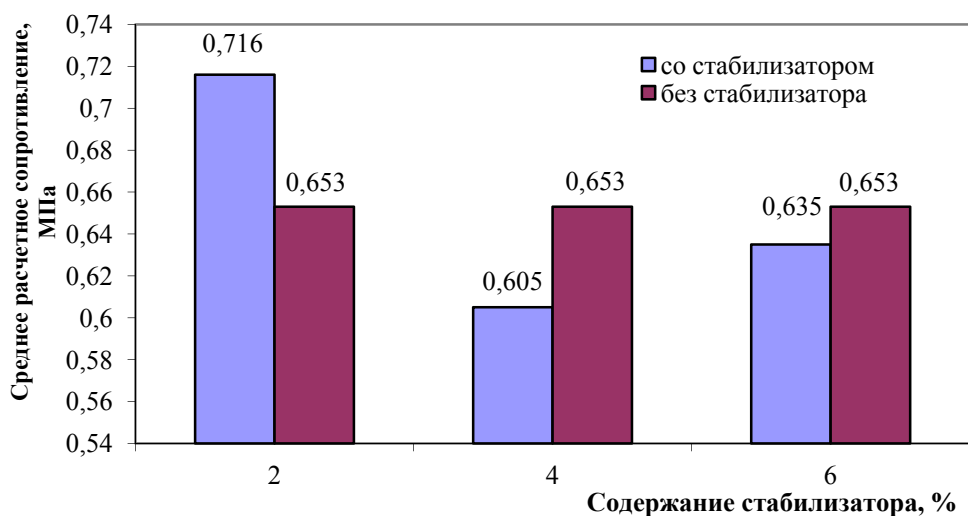


Рис. 2. Результаты влияния различного количества стабилизатора на прочность укрепленного грунта

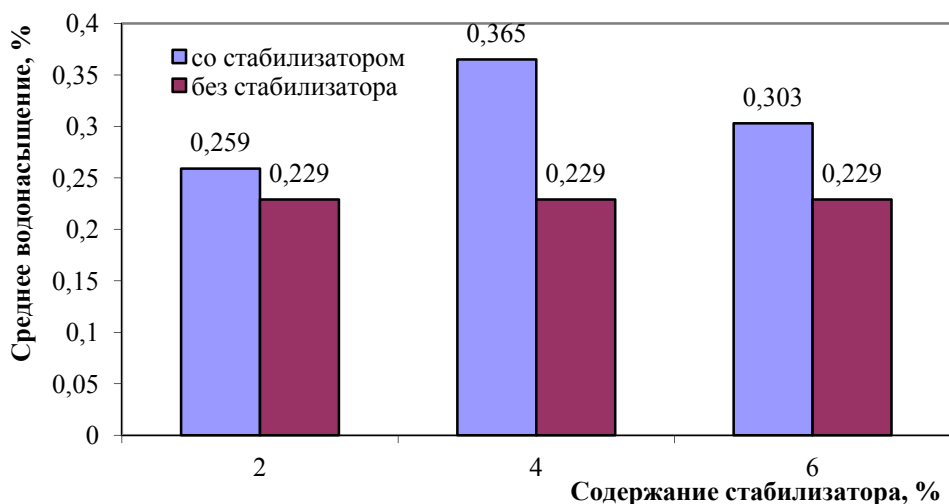


Рис. 3. Анализ влияния различного количества стабилизатора на водонасыщение укрепленного грунта

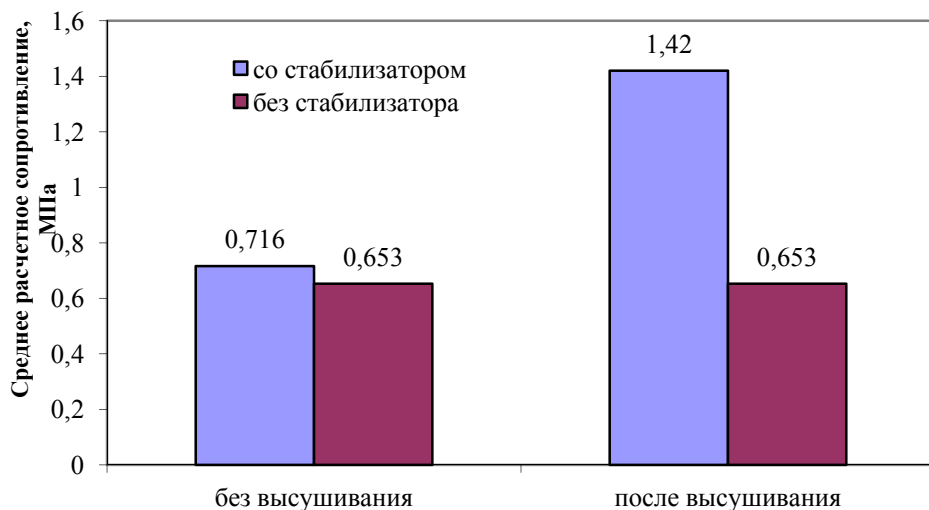


Рис. 4. Влияния технологии обработки стабилизатором глинистого грунта на его прочность

Анализ влияния различного количества стабилизатора «UNDERBOLD» на водонасыщение укрепленного грунта показан на следующей диаграмме (рис. 3).

С увеличением количества стабилизатора в два и в три раза среднее водонасыщение увеличивается. При обработке грунта стабилизатором в количестве 2 % от общей массы грунта, водонасыщение увеличивается не значительно на 0,03 %. Увеличение количества стабилизатора до 4 % ведет к резкому возрастанию водонасыщения на 0,136 %. При увеличении количества стабилизатора до 6 % водонасыщение возрастает до 0,74 %.

На диаграмме (рис. 4) показано влияния технологии обработки стабилизатором «UNDERBOLD» глинистого грунта на прочность этого грунта.

Шесть образцов были изготовлены по технологии, рекомендуемой изготовителем стабилизатора.

Разница между средними расчетными сопротивлениями небольшая, но есть. Сопротивление у образцов, обработанных стабилизатором, выше на 0,063 МПа.

Шесть образцов были изготовлены по предложенной методике (обработка 2-х процентным раствором стабилизатора грунта, доведенного до оптимальной влажности; полное высушивание обработанного грунта; добавление вяжущего (цемента) в грунт оптимально увлажненный). Разница между получившимися результатами составляет 0,767 МПа. Это значит, что при использовании данной технологии среднее расчетное сопротивление обработанного грунта возрастает в 2,5 раза по сравнению с необработанным грунтом.

Экспериментальные результаты влияния технологии обработки стабилизатором «UNDERBOLD» глинистого грунта на водонасыщение этого грунта показаны на следующей диаграмме (рис. 5).

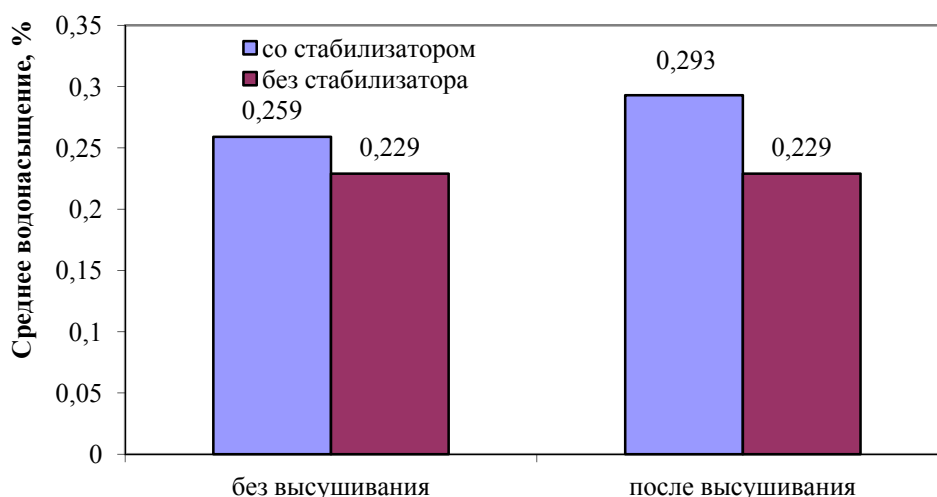


Рис. 5. Экспериментальные результаты влияния технологии обработки стабилизатором глинистого грунта на его водонасыщение

Таблица 5

Результаты экспериментальных исследований грунта до и после стабилизации

№ пп.	Вид грунта	Относительная деформация морозного пучения ϵ_{fn} , %	Степень морозного пучения грунта
1	Не обработанный стабилизатором	7,9	Сильнопучинистый
2	Обработанный стабилизатором по Способу № 1	8,45	Сильнопучинистый
3	Обработанный стабилизатором по Способу № 2	4,5	Среднепучинистый

Результаты экспериментальных исследований образцов грунта до и после стабилизации на показатели морозного пучения представлены в таблице 5.

Выводы:

1. Влияние стабилизатора «UNDERBOLD» на сохранение предела прочности на сжатие укрепленных грунтов зависит от содержания глинистых частиц (вида грунта) и может достигать 30 % в случае применения рекомендуемой производителем технологии.

2. Применение стабилизатора «UNDERBOLD» по предлагаемой нами технологии (обработка стабилизатором – высушивание – укрепление цементом) обеспечивает повышение прочности укрепленного грунта после водонасыщения до 2-х и более раз по сравнению с образцами без стабилизатора.

3. При проектировании дорожной одежды с использованием местных глинистых грунтов укрепленных стабилизатором «UNDERBOLD» необходимо предусмотреть устройство водоизолирующей прослойки

4. Данный стабилизатор не является реагентом, снижающим явление морозного пучения (при испытании на морозное пучение получен отрицательный результат). Для рекомендации новых химических реагентов в качестве противогололедных добавок необходимо иметь результаты экспериментальных определений их влияния на пучинистые свойства грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безрук, В. М. Укрепленные грунты (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве) / В. М. Безрук, И. Л. Гурчиков, Р. А. Агапова [и др.]. – Москва : Транспорт, 1982. – 231 с.
2. Технология укрепления грунтов «ANT». ЗАО «Агентство Новых Технологий» : официальный сайт. – URL: <http://ant-rus.ru> (дата обращения: 17.12.2020). – Текст : электронный.
3. Каган, Г. Л. Разработки в области строительства сооружений на сезоннопромерзающих грунтах : монография / Г. Л. Каган, В. А. Шорин, А. Ю. Вельсовский ; Министерство образования и науки РФ, Вологодский государственный университет. – Вологда : ВоГУ, 2016. – 184 с.
4. Бирюков, Н. С. Методическое пособие по определению физико-механических характеристик грунтов / Н. С. Бирюков, В. Д. Казарновский, Ю. Л. Мотылев. – Москва : Недра, 1975. – 176 с.
5. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства : введен 1995-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1995. – 8 с.

V.A. Shorin, A.Y. Velsovsky
Vologda State University

**ION STABILIZERS AS A WAY TO IMPROVE
THE CHARACTERISTICS OF CLAY SOILS**

This work is devoted to the study of the possibility of using the stabilizer "UNDERBOLD" for clay soils of Vologda region. The effect of the stabilizer on the preservation of the compressive strength of reinforced soils, which depends on the content of clay particles (type of soil) and can reach 30 % if the manufacturer recommends the technology. The use of the "UNDERBOLD" stabilizer, according to the technology we offer (stabilizer treatment-drying-cement strengthening), provides an increase in the strength of the reinforced soil after water saturation up to 2 or more times compared to samples without a stabilizer. It is shown that when designing a pavement using local clay soil reinforced stabilizer "UNDERBOLD", water isolation layer as well as the necessary drainage which allows to increase the efficiency of the structural layer should be provided. It is noted that this stabilizer is not a reagent that reduces the phenomenon of frost heaving.

Soil, road clothing, chemical stabilizer, soil strengthening, frost heaving, strength, water resistance.