

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИОННОГО
СТАБИЛИЗАТОРА ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ
МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ
ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Канд. техн. наук **С.А. Мясникова**,
канд. техн. наук **А.Ю. Вельсовский**,
д-р хим. наук **В.А. Шорин**
(Вологодский государственный университет (ВоГУ))
Конт. информация: lana-m-11@mail.ru;
ad@vogu35.ru

Статья касается исследования 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. Использование стабилизатора «UNDERBOLD» по предлагаемой авторами данной статьи 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», требуется предусмотреть устройство водоизолирующей прослойки, а также водоотвода, позволяющих повысить работоспособность конструктивного слоя. Отмечено, что данный стабилизатор не является реагентом, эффективно снижающим явление морозного пучения.

Ключевые слова: *грунты, дорожная одежда, химический стабилизатор, укрепление грунта, морозное пучение, прочность, водостойкость.*

Введение

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 [1-12].

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 KaHelInternational является единственным обладателем лицензии на использование этой безвредной, защищенной немецкими патентами, известной и проверенной на практике технологии устройства дорог. В России данный продукт применительно к дорожной отрасли опробован недостаточно широко. Поэтому данное исследование представляется актуальным.

Материалы и методы

Для исследования стабилизатора «UNDERBOLD» служили грунты, отобранные из различных карьеров Вологодской области. Физические характеристики этих грунтов, гранулометрический состав и степень пучинистости определялись в соответствии с нормативными требованиями [13, 14].

Подготовка 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 **табл. 1**.
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 [15].

Таблица 1

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

Для укрепления грунта принимался цемент марки 500 (ГОСТ 10178-85). Технология приготовления укрепленного неорганическим вяжущим грунта приведена в ГОСТ 23558-94 [16].

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.

Результаты и обсуждение

Все полученные экспериментальные результаты для анализа сведены в **табл. 2**.

Согласно **табл. 2**, 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 отмечена для супеси (0,346 МПа) и для глины (0,288 МПа). У суглинка разница не такая большая, но все же имеется. У суглинка с числом пластичности 12 разница 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 суглинка с числом пластичности 12 и 10,5 водонасыщение увеличилось на 0,03 и 0,092 % соответственно.

Таблица 2

№		Компоненты			Среднее расчетное сопротивление, МПа	Среднее водонасыщение, %
грунта	образцов	грунт	вяжущее	стабилизатор		
1	1, 2, 3	Ip19	Ц 5%	2%	1,371	0,156
1	7, 8, 9	Ip19	Ц 5%	-	1,083	0,354
3	4, 5, 6	Ip12	Ц 5%	2%	0,716	0,259
3	10, 11, 12	Ip12	Ц 5%	-	0,653	0,229
2	13, 14, 15	Ip10,5	Ц 5%	2%	1,002	0,586
2	16, 17, 18	Ip10,5	Ц 5%	-	0,916	0,494
4	19, 20, 21	Ip7	Ц 5%	2%	1,072	0,478
4	22, 23, 24	Ip7	Ц 5%	-	1,677	0,628
5	25, 26, 27	Ip5	Ц 5%	-	1,931	0,436
5	28, 29, 30	Ip5	Ц 5%	2%	2,277	0,261
3	31, 32, 33	Ip12	Ц 7,5%	-	1,107	0,197
3	34, 35, 36	Ip12	Ц 7,5%	2%	1,298	0,261
3	37, 38, 39	Ip12	Ц 10%	-	1,346	0,230
3	40, 41, 42	Ip12	Ц 10%	2%	1,838	0,228
3	43, 44, 45	Ip12	Ц 5%	4%	0,605	0,365
3	52, 53, 54	Ip12	Ц 5%	6%	0,635	0,303
3	55, 56, 57	Ip12	Ц 5%	2%	1,420	0,293

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, обработанных 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.

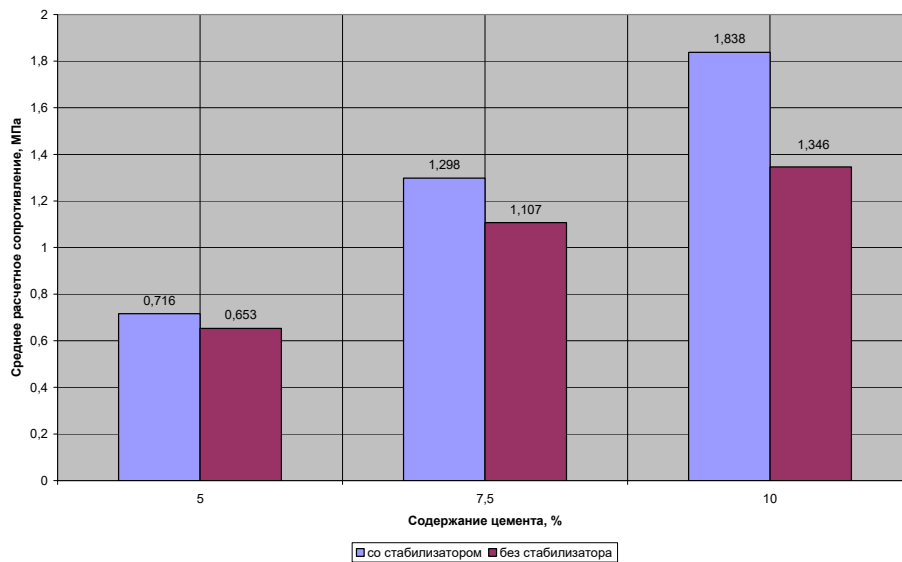


Рис. 1. Экспериментальные результаты влияния различного количества вяжущего на прочность укрепленного грунта

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

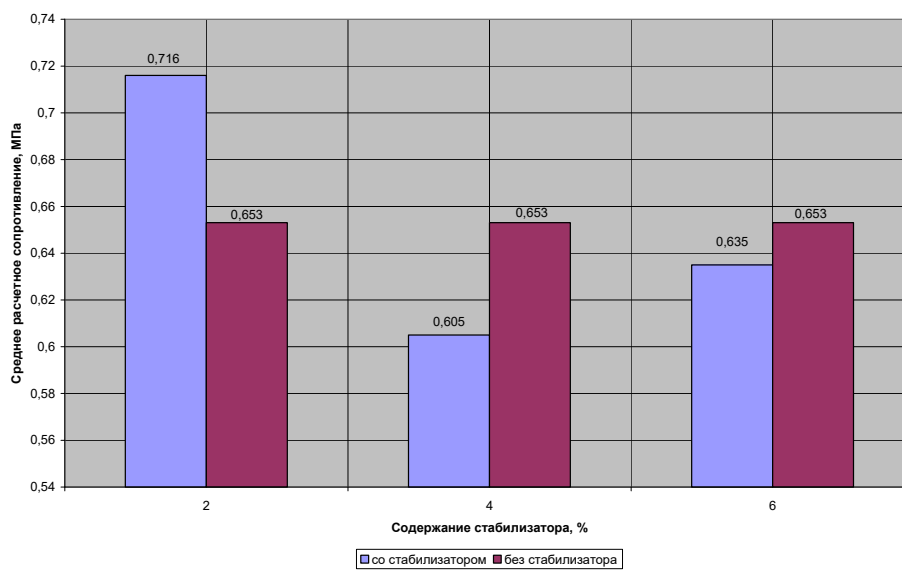


Рис. 2. Результаты влияния различного количества стабилизатора «UNDERBOLD» на прочность укрепленного грунта

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, которая указана в патенте-лицензии.

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 незначительно – 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 %.

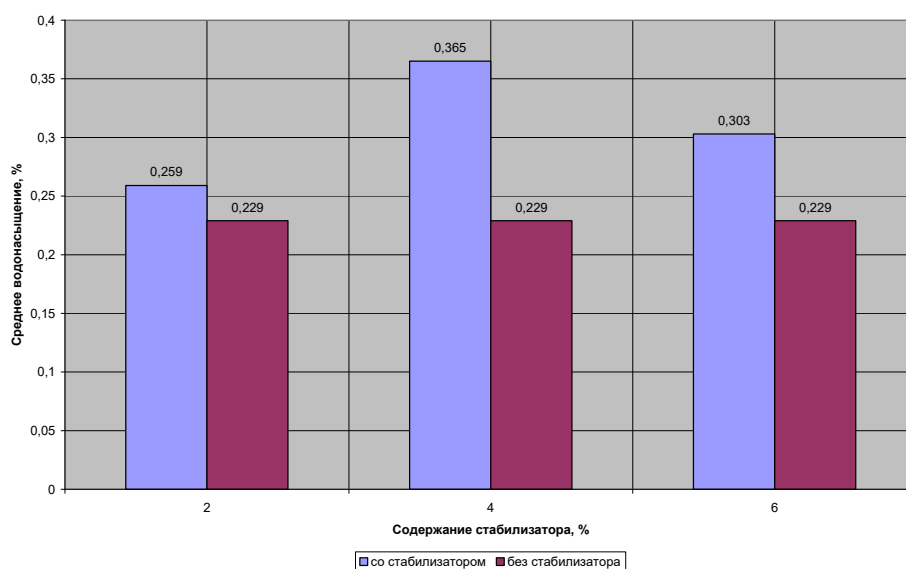


Рис. 3. Анализ влияния различного количества стабилизатора «UNDERBOLD» на водонасыщение укрепленного грунта

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

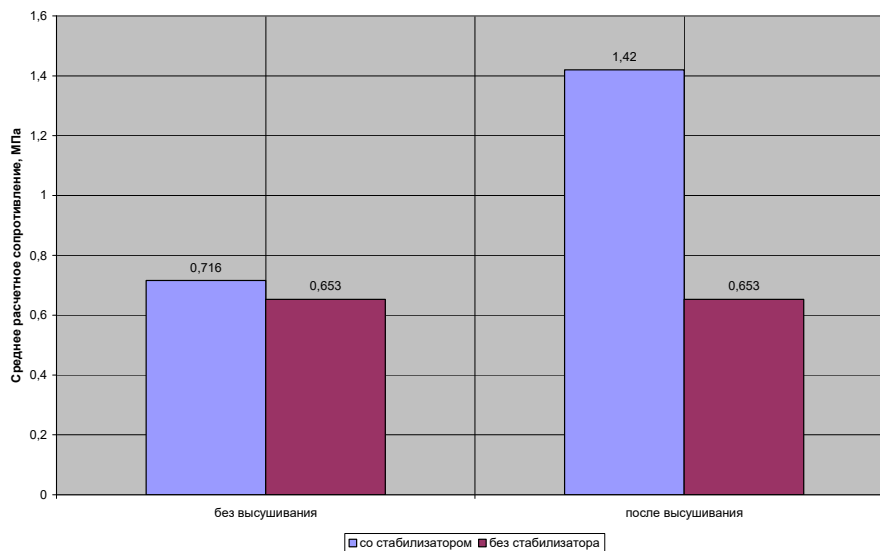


Рис. 4. Влияние технологии обработки стабилизатором «UNDERBOLD» глинистого грунта на его прочность

Шесть образцов были изготовлены по технологии, рекомендуемой изготовителем стабилизатора. Имеется незначительная разница между средними расчетными сопротивлениями. 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 означает, 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).

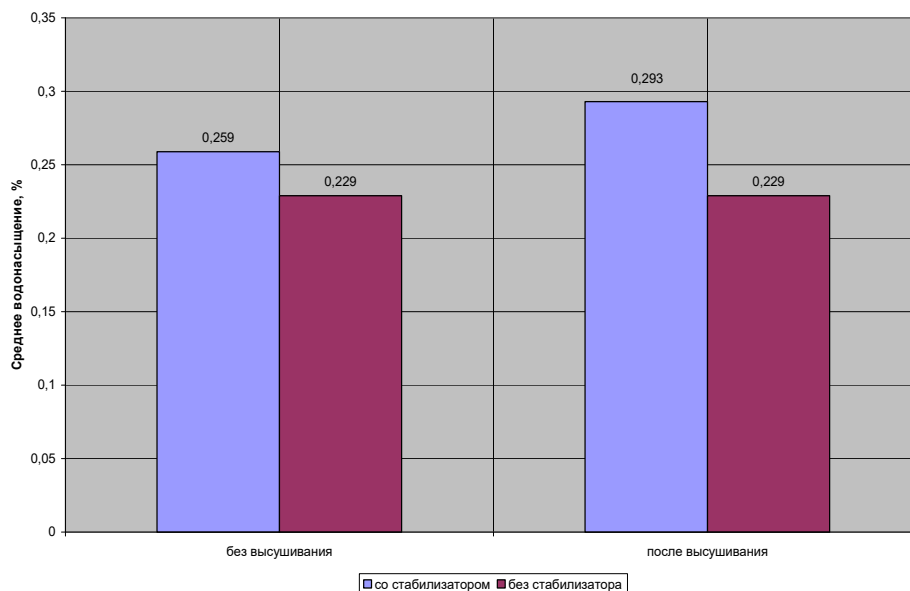


Рис. 5. Экспериментальные результаты влияния технологии обработки стабилизатором «UNDERBOLD» глинистого грунта на его водонасыщение

Результаты экспериментальных исследований образцов грунта до и после стабилизации на показатели морозного пучения представлены в **табл. 3**.

Таблица 3

<i>№ n/n</i>	<i>Вид грунта</i>	<i>Относительная деформация морозного пучения ϵ_{fn}, %</i>	<i>Степень морозного пучения грунта</i>
<i>1</i>	Необработанный стабилизатором	7,9	Сильнопучинистый
<i>2</i>	Обработанный стабилизатором по способу № 1	8,45	Сильнопучинистый
<i>3</i>	Обработанный стабилизатором по способу № 2	4,5	Среднепучинистый

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 авторами 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 при определенных условиях может приводить к некоторому снижению степени морозного пучения грунта.
5. Для увеличения эффективности производственного внедрения двухстадийной технологии укрепления грунтов стабилизатором «UNDERBOLD» необходимо продолжить исследование в указанных направлениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безрук В.М. Укрепленные грунты (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве) / В.М. Безрук, И.Л. Гурячков, Т.М. Луканина [и др.]. – М.: Транспорт, 1982. – 231 с.
2. Технология укрепления грунтов «ANT» // ООО "АНТ-Инжиниринг": [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://moscow.roads-pro.ru/services/stroitelstvo-kamennyh-dorog/tehnologiya-stabilizacii-i-ukrepleniya-gruntov-ant/> (дата обращения: 05.09.2022).
3. Velsovskij A.Y. Development of a waterproof composition based on organic polymers, which increases the durability of building materials and structures and increases their resistance to aggressive factors / A.Y. Velsovskij, A.A. Sinitsyn, N.N.Gabibov, L.R. Mukhametova // Sustainable Energy Systems: innovative perspectives. Conference proceedings. Сер. «Lecture Notes in Civil Engineering». – 2021. – С. 14-19.
4. Shorin V.A. Study of the impact of ultrasonic treatment on the technological properties of cationic bitumen emulsion / V.A. Shorin,

- A.Y. Velsovskij, C.A. Myasnikova, T.R. Akhmetov // Sustainable Energy Systems: innovative perspectives. Conference proceedings. Ser. «Lecture Notes in Civil Engineering». – 2021. – С. 268-275.*
5. *Шорин В.А. Исследование влияния химических ПГМ на характеристики земляного полотна автомобильной дороги // В.А. Шорин, А.Ю. Вельсовский // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 1 (11). – С. 71-74.*
 6. *Шорин В.А. Исследование ионного стабилизатора для укрепления и обеспечения морозостойчивости глинистых грунтов / В.А. Шорин, А.Ю. Вельсовский // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: материалы VII-ой международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 353-359.*
 7. *Shorin V.A. Application of an ionic stabilizer for reinforcing and ensuring frost resistance of clay soils / V.A. Shorin, A.Y. Velsovskij, T.R. Akhmetov // E3S Web of Conferences. – 2020. – С. 01037.*
 8. *Velsovskij A.Y. Study of the influence of chemical anti-icing materials on frost heaving of the roadbed soils / A.Y. Velsovskij, Shorin V.A., T.R. Akhmetov // E3S Web of Conferences. – 2020. – С. 01064.*
 9. *Kagan G.L. To the question of improvement, the normative methodology for calculating the frost resistance of a road structure / G.L. Kagan, V.A. Shorin, A.Y. Velsovskij // E3S Web of Conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020. – 2020. – С. 01038.*
 10. *Kagan G.L. Testing of a road structure for frost resistance using the curve of frost heaving intensity / G.L. Kagan, V.A. Shorin, A.Y. Velsovskij // E3S Web of Conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020. – 2020. – С. 01039.*
 11. *Velsovskij A. Study of processes of artificial freezing and thawing of soils when developing a model of energy-efficient radiation-convection setup / A. Velsovskij, L. Mukhametova, A. Sinitsyn, D. Karpov // E3S web of conferences. – 2020. – С. 01018.*
 12. *Разуваев Д.А. Совершенствование метода проектирования дорожных одежд при стабилизации рабочего слоя земляного полотна (на примере Новосибирской области): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Разуваев Денис Алексеевич; Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС). – Новосибирск, 2013. – 24 с.*

13. Каган Г.Л. Проектирование дорожных конструкций на морозоустойчивость / Г.Л. Каган, А.Ю. Вельсовский, В.А. Шорин. – Вологда, 2019. – 94 с.
14. Бирюков Н.С. Методическое пособие по определению физико-механических характеристик грунтов / Н.С. Бирюков, В.Д. Казарновский, Ю.Л. Мотылев. – М.: Недра, 1975. – 176 с.
15. Kagan G.L. A method for construction of an energy-efficient ice floating pier in the Arctic using hardened ice / G.L. Kagan, L.R. Mukhametova, A.Y. Velsovskij // E3S Web of Conferences. – 2020. – V. 178. – P. 01064.
16. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Взамен ГОСТ 23558-79; введ. 1995-01-01; с изменениями № 1, 2. – М.: Стандартинформ, 2005.

L I T E R A T U R A

1. Bezruk V.M. Ukreplennye grunty (Svojstva i primenenie v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve) / V.M. Bezruk, I.L. Guryachkov, T.M. Lukanina [i dr.]. – М.: Transport, 1982. – 231 с.
2. Tekhnologiya ukrepleniya gruntov «ANT». – 2009. // ZAO «Agentstvo Novyh Tekhnologij»: [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.ant-rus.com>.
3. Velsovskij A.Y. Development of a waterproof composition based on organic polymers, which increases the durability of building materials and structures and increases their resistance to aggressive factors / A.Y. Velsovskij, A.A. Sinitsyn, N.N. Gabibov, L.R. Mukhametova // Sustainable Energy Systems: innovative perspectives. Conference proceedings. Ser. «Lecture Notes in Civil Engineering». – 2021. – S. 14-19.
4. Shorin V.A. Study of the impact of ultrasonic treatment on the technological properties of cationic bitumen emulsion / V.A. Shorin, A.Y. Velsovskij, C.A. Myasnikova, T.R. Akhmetov // Sustainable Energy Systems: innovative perspectives. Conference proceedings. Ser. «Lecture Notes in Civil Engineering». – 2021. – S. 268-275.
5. Shorin V.A. Issledovanie vliyaniya himicheskikh PGM na harakteristiki zemlyanogo polotna avtomobil'noj dorogi // V.A. Shorin, A.Yu. Vel'sovskij // Vestnik Vologodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2021. № 1 (11). S. 71-74.
6. Shorin V.A. Issledovanie ionnogo stabilizatora dlya ukrepleniya i obespecheniya morozoustojchivosti glinistykh gruntov / V.A. Shorin, A.Yu. Vel'sovskij // Ustojchivoe razvitie regiona: arhitektura,

- stroitel'stvo, transport: materialy VII-*oj* Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. –2020. – S. 353-359.
7. Shorin V.A. Application of an ionic stabilizer for reinforcing and ensuring frost resistance of clay soils / V.A. Shorin, A.Y. Velsovskij, T.R. Akhmetov // E3S Web of Conferences. – 2020. – S. 01037.
 8. Velsovskij A.Y. Study of the influence of chemical anti-icing materials on frost heaving of the roadbed soils / A.Y. Velsovskij, Shorin V.A., T.R. Akhmetov // E3S Web of Conferences. – 2020. – S. 01064.
 9. Kagan G.L. To the question of improvement, the normative methodology for calculating the frost resistance of a road structure / G.L. Kagan, V.A. Shorin, A.Y. Velsovskij // E3S Web of Conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020. – 2020. – S. 01038.
 10. Kagan G.L. Testing of a road structure for frost resistance using the curve of frost heaving intensity / G.L. Kagan, V.A. Shorin, A.Y. Velsovskij // E3S Web of Conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020. – 2020. – S. 01039.
 11. Velsovskij A. Study of processes of artificial freezing and thawing of soils when developing a model of energy-efficient radiation-convection setup / A. Velsovskij, L. Mukhametova, A. Sinitsyn, D. Karpov // E3S web of conferences. – 2020. – S. 01018.
 12. Razuvaev D.A. Sovershenstvovanie metoda proektirovaniya dorozhnyh odezhd pri stabilizacii rabocheho sloya zemlyanogo polotna (na primere Novosibirskoj oblasti): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.11 / Razuvaev Denis Alekseevich; Sibirskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya (SGUPS). – Novosibirsk, 2013. – 24 s.
 13. Kagan G.L. Proektirovanie dorozhnyh konstrukcij na morozoustojchivost' / G.L. Kagan, A.YU. Vel'sovskij, V.A. SHorin. – Vologda, 2019. – 94 s.
 14. Biryukov N.S. Metodicheskoe posobie po opredeleniyu fiziko-mekhanicheskikh harakteristik gruntov / N.S. Biryukov, V.D. Kazarnovskij, YU.L. Motylev. – M.: Nedra, 1975. – 176 s.
 15. Kagan G.L. A method for construction of an energy-efficient ice floating pier in the Arctic using hardened ice / G.L. Kagan, L.R. Mukhametova, A.Y. Velsovskij // E3S Web of Conferences. – 2020. – V. 178. – P. 01064.
 16. GOST 23558-94. Smesi shchebenochno-gravijno-peschanye i grunty, obrabotannye neorganicheskimi vyazhushchimi materialami, dlya dorozhnogo i aerodromnogo stroitel'stva. Vzamen GOST 23558-79; vved. 1995-01-01; s izmeneniyami № 1, 2. – M.: Standartinform, 2005.

.....
**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF ION
STABILIZER FOR STRENGTHENING AND PROVIDING FROST RE-
SISTANCE OF CLAY SOILS FOR ROAD CONSTRUCTION**

*Ph. D. (Tech.) S.A. Myasnikova,
Ph. D. (Tech.) A.Yu. Velsovsky,
Doctor of chemistry V.A. Shorin
(Vologda State University (VOGU))
Contact information: lana-m-11@mail.ru;
ad@yogu35.ru*

The article deals with the research of the possibility of using the «UNDERBOLD» stabilizer for clay soils of the Vologda region. The effect of the stabilizer on maintaining compressive strength of reinforced soils is shown, which depends on the content of clay particles (type of soil) and can reach 30 % provided that the manufacturer's recommended technology is applied. The use of the «UNDERBOLD» stabilizer according to the technology proposed by authors (treatment with stabilizer – drying – strengthening with cement) provides an increase in the strength of the strengthened soil after water saturation up to 2 or more times compared to samples without stabilizer. It is shown that when designing a pavement using local clay soils strengthened with the «UNDERBOLD» stabilizer, it is necessary to performing a waterproofing layer, as well as the drainage to increase the efficiency of the structural layer. It is noted that this stabilizer is not a reagent that reduces the phenomenon of frost heave.

Key words: soils, road pavement, chemical stabilizer, soil strengthening, frost heave, strength, water resistance.

Рецензент: канд. техн. наук Н.Н. Беляев (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 14.03.2022 г.