

Минеральная композиция для стабилизации грунта

М.Б. Каддо, Б.А. Ефимов, Е.А. Михайлик

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: Актуальность создания систем по стабилизации и укреплению грунтов обусловлена необходимостью строительства зданий, сооружений и дорог в регионах, где широко распространены глинистые грунты, а также суглинки и супеси. В статье сформулированы основные технологические и технические требования к стабилизированным грунтам. Рассмотрена принципиальная возможность изменения механических свойств грунта за счет использования смеси молотого шлака и негашеной извести с одновременным механическим воздействием. Изложены результаты исследований модификации грунта композиционным составом, цель которых сделать грунт пригодным не только для устройства противофильтрационных завес в грунтах при разработке котлованов, но и для фундаментов и подвальных помещений. Представлены результаты исследований свойств стабилизированного грунта.

Ключевые слова: нестабилизированный грунт, модификация грунта, суглинок, негашеная известь, молотый шлак, аналитическая оптимизация.

Укрепление необходимо на слабых грунтах и пучинистых грунтах как при строительстве дорог, так и оснований фундаментов. Глинистые грунты, суглинки и супеси в нестабилизированном состоянии могут представлять непосредственную опасность. Методы модификации грунта могут быть механические, химические и термические. Используемые компоненты должны быть безопасны для окружающей среды и совместимы с грунтом.

Эффективность стабилизации грунта зависит от множества факторов, основными из которых являются: содержание глинистых частиц и гумусовых веществ, содержание солей, хлоридов и сульфатов. При стабилизации грунта первоначально проводится оценка его гидрогеологического состояния и свойств [1-3].

Один из методов стабилизации – цементация. Метод основан на закреплении массива грунта при помощи закачивания в него гидравлических вяжущих веществ (например, сульфатостойкого портландцемента). Цементация бывает двух видов: поверхностная и глубинная.

Метод поверхностной стабилизации заключается в механическом уплотнении смеси грунта с цементирующими материалами и специальными добавками. Глубинная стабилизация осуществляется методом пропитки, с использованием гидроразрыва, бурсмесительным способом и струйным методом. Цементация в режиме пропитки применяется для стабилизации несвязных грунтов с целью увеличения прочности или уменьшения проницаемости. При струйном способе вяжущие вещества и специальные добавки гомогенизируются с грунтом при его размыве под высоким давлением воды. При *бурсмесительном способе* введение инъекционного раствора и вращательное бурение происходит одновременно [4-6].

Как правило, стабилизируют грунты составами на основе дорогостоящего портландцемента, замена которого на менее дорогие вяжущие и такие отходы производства, как гранулированные шлаки, дает видимый экономический эффект. В данной работе использовались составы на основе строительной извести (ГОСТ9179-2018) и гранулированного шлака (ТУ 0799-001-99126491-2013) и определялись основные показатели стабилизированного грунта.

Стабилизируемый песчаный суглинок имел плотность не более 1720 кг/м^3 при оптимальной влажности 18,6 % и число пластичности 9,1.

Степень измельчения применяемого вяжущего - остаток на ситах № 02 и № 008 не более 1,2% и 12% соответственно, количество активных CaO и MgO - 82%, непогасившихся зерен – не более 6%. Химический состав доменного шлака: SiO₂ – 90,7%; Fe₂O₃ – 2,5%; Al₂O₃ – 2,2; CaO – 0,5%; Na₂O – 0,6. Потери при прокаливании – 3,4%.

В ходе работы были использованы методы математического планирования и статистической обработки результатов.

После чего были проведены лабораторные замесы. Результаты представлены в таблице 1. Расход молотого шлака и его удельная

поверхность принимались равными оптимальным значениям:
соответственно: 363 ± 18 кг/м³ и 383 ± 10 м²/кг.

Таблица № 1

Сравнение расчетных и экспериментальных значений прочности при сжатии
и средней плотности стабилизированного грунта

№	Количество извести, кг/м ³	Уплотняющая нагрузка, кПа	Прочность при сжатии, МПа			Средняя плотность, кг/м ³		
			Расчётная	Эксперимент	Расхождение, %	Расчётная	Эксперимент	Расхождение, %
1	130	650	9,8	9,1	7,1	1815	1770	2,5
2	130	350	7,8	7,2	7,6	1715	1691	1,3
3	130	500	8,8	9,3	5,4	1765	1714	2,9
4	70	650	6,2	5,8	6,5	1675	1698	1,4
5	70	300	6,6	6,2	6,1	1647	1676	1,4
6	70	500	6,4	6,8	6,3	1661	1703	3,1
7	100	500	7,6	7,1	6,6	1713	1684	1,7

Проведение контрольных замесов с учетом расчетных значений показало, что расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями результатов находится в интервале 6,1–7,6% по прочности при сжатии и 1,3–2,9% по средней плотности. Эти значение не превышают погрешностей, принятых при реализации технологий строительных материалов.

Наибольшая прочность стабилизированного грунта достижима при расходах основных компонентов: негашеной извести 130 кг/м³, молотого шлака 363 кг/м³, удельной поверхности молотого шлака 383 кг/м² и

уплотняющей нагрузке 500–650 кПа и составляет 8,8–9,8 МПа при средней плотности модифицированного и уплотненного грунта 1714–1770 кг/м³.

При обустройстве фундаментов и котлованов, комплексное усиление грунта делает возможным понижение отметки существующих фундаментов, что необходимо для повышения несущей способности, а также для устройства подвальных помещений, устранения воздействий на примыкающие котлованы. Усиление необходимо при устройстве противодиффузионной завесы в грунтах при разработке котлованов и инъекционных стен в грунте, ремонте грунтовых гидротехнических сооружений [7-8].

В случае строительства на пучинистых грунтах представляет практический интерес усиление грунта как за счет химической модификации и механического воздействия, так и за счет устройства теплоизоляционного слоя, препятствующего проникновению холода в тело насыпи. В этом случае рекомендуется применять насыпную изоляцию или водонепроницаемые материалы, имеющие низкую теплопроводность, например, рулонный вспененный полиэтилен [9-10].

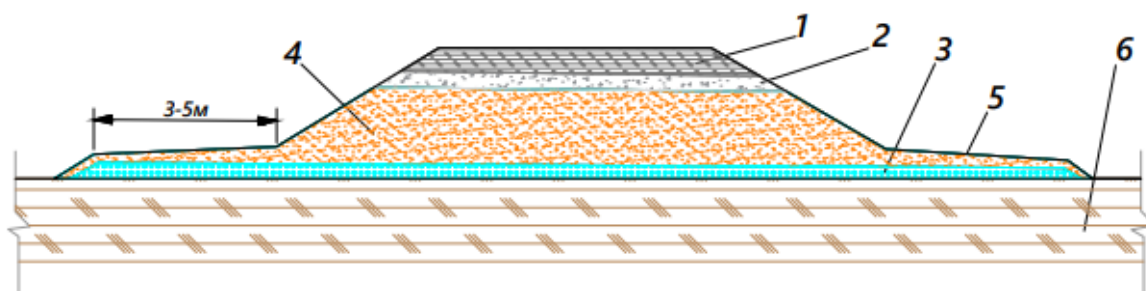


Рис. 1. - Схема устройства теплоизоляционного слоя на пучинистом модифицированном грунте (глина, суглинок): 1 – дорожная одежда; 2 – подстилающий слой; 3 – рулонная тепло- гидроизоляция на основе рулонного пенополиэтилена; 4 – насыпь; 5 – защитная берма; 6 – пучинистый грунт основания.

В зонах распространения вечной мерзлоты, а также на талых участках, сложенных пучинистыми грунтами, рекомендуется применять рулонный вспененный полиэтилен, свариваемый по поверхностям контакта между листами с помощью строительного фена. Так формируется бесшовное изоляционное покрытие, способствующее предотвращению промерзания основания, которое может сопровождаться вспучиванием грунтов (рис.1).

При конструировании дорожных одежд со слоем из «рулонного пенополиэтилена, следует учитывать, что, исходя из технологических особенностей их устройства, над материалом должен быть устроен защитный слой, предохраняющий его от воздействия построечной техники. Защитный слой необходимо устраивать из дренирующего материала.

Литература

1. Каддо М.Б., Михайлик Е.Д. Системы изоляции сельскохозяйственных объектов // Перспективы науки. 2022. №12 (159) С. 87-90.
2. Kashevarova G. G., Makovetskiy O. A.. Analysis of Experimental and Estimated Jet-grouted Soil Mass Deformations // Procedia Engineering, Volume 150, 2016. URL: doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.268.
3. Wang Z. F., Shen S. L., Modoni G. Enhancing discharge of spoil to mitigate disturbance induced by horizontal jet grouting in clayey soil: theoretical model and application //Computers and Geotechnics. – 2019. – Т. 111. – pp. 222-228. DOI: 10.1016/j.compgeo.2019.03.012.
4. Zhukov A., Stepina I., Bazhenova S. Ensuring the Durability of Buildings through the Use of Insulation Systems Based on Polyethylene Foam //Buildings. – 2022. – Т. 12. – №. 11. – С. 1937. URL: doi.org/10.3390/buildings12111937.
5. Романенко И.М., Петровнина И.Н., Еличев К.А., Козицын В.С. Влияние условий твердения бетона на прочностные показатели // Инженерный Вестник Дона, 2022, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2022/7531/.

6. Стенечкина К.С. Применение декоративных бетонов для отделки зданий и сооружений // Инженерный Вестник Дона, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8272.

7. Efimov B., Mihailik E., Sanko D. Soil stabilization by injection of mineral complexes. E3S Web of Conferences . – EDP Sciences, 2023. – P. 03013. – DOI: 10.1051/e3sconf/202338903013.

8. Wang X., Kim S., Wu Y., Liu Y., Liu T., Wang Y. Study on the optimization and performance of GFC soil stabilizer based on response surface methodology in soft soil stabilization //Soils and Foundations. – 2023. – Т. 63. – №. 2. – p. 101278. DOI: 10.1016/j.sandf.2023.101278.

9. Ayeldeen M., Hara Y., Kitazume M., Negm A. Unconfined compressive strength of compacted disturbed cement-stabilized soft clay // International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering. – 2016. – Т. 2. – С. 1-10. DOI: 10.1007/s40891-016-0064-4.

10. Алексеев В. А., Баженова О. Ю., Поудел Р. С. Проблема реализации технологии струйной цементации в сложных инженерно-геологических условиях // Техника и технология силикатов. – 2022. – Т. 29, № 3. – С. 274-283.

References

1. Kaddo M.B., Mikhailik E.D. Insulation systems for agricultural objects. Perspectives of science. 2022. No. 12 (159) pp. 87-90.

2. Kashevarova G. G., Makovetskiy O. A.. Analysis of Experimental and Estimated Jet-grouted Soil Mass Deformations. Procedia Engineering, Volume 150, 2016. URL: doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.268.

3. Wang Z. F., Shen S. L., Modoni G. Computers and Geotechnics. 2019. Т. 111. pp. 222-228. DOI: 10.1016/j.compgeo.2019.03.012.

4. Zhukov A., Stepina I., Bazhenova S. Buildings. 2022. Т. 12. №. 11. p. 1937. URL: doi.org/10.3390/buildings12111937.



5. Romanenko I.M., Petrovnina I.N., Elichev K.A., Kozicyn V.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2022/7531/.
6. Stenechkina K.S. Inzhenernyj Vestnik Dona, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8272.
7. Efimov B., Mihailik E., Sanko D. EDP Sciences, 2023. P. 03013. DOI: 10.1051/e3sconf/202338903013.
8. Wang X., Kim S., Wu Y., Liu Y., Liu T., Wang Y. Soils and Foundations. 2023. T. 63. №. 2. С. 101278. DOI: 10.1016/j.sandf.2023.101278.
9. Ayeldeen M., Hara Y., Kitazume M., Negm A. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering. 2016. T. 2. pp. 1-10. DOI: 10.1007/s40891-016-0064-4.
10. Alekseev V. A., Bazhenova O. Yu., Poudel R. S. Engineering and technology of silicates. 2022. T. 29, No. 3. pp. 274-283.

Дата поступления: 4.02.2024

Дата публикации: 19.03.2024