



Research Article

Received: December 13, 2022

Accepted: December 23, 2022

Published: December 28, 2022

ISSN 2304-6295

## Physical and mechanical characteristics of soil stabilized with quicklime for road bed

Vdovin, Evgeny Anatolievich<sup>1</sup> Bulanov, Pavel Efimovich<sup>1\*</sup> Mavliev, Lenar Fidaesovich<sup>1</sup>

1 Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation; vdovin007@mail.ru (V.E.A.); pavel.bulanov1991@yandex.ru (B.P.E.); lenarmavliev@yandex.ru (M.L.F.)

Correspondence: \* email pavel.bulanov1991@yandex.ru; contact phone +79520444348

### Keywords:

Soil stabilization; Quicklime; Road bed; Road; Index of plasticity; Maximum density; Optimum moisture content

### Abstract:

Various types of clayey soils are available for road construction, especially in areas where strong stone materials are not available. However, these materials have the property of reducing the bearing capacity, under the influence of water. Therefore, increasing the bearing capacity of the subgrade is one of the hot topics. **The object of research** is the stabilization of clay soils of the road bed. **The purpose of this work** is to study the physical and mechanical characteristics of stabilized clay soil with quicklime. The influence of quicklime ground lime in an amount from 1% to 10% on the change in the basic physical properties and compressive strength of clay soil is considered. **Method.** As a soil, heavy silty loam with an Index of plasticity of 14.63 and a content of dust and clay particles of 79.92% was used. The strength and physical properties of stabilized soil with quicklime ground were studied for the following indicators: compressive strength of water-saturated samples at 7 days of age, water uptake, moisture at the limit of liquidity, moisture at the limit of plasticity, index of plasticity, content of dust and clay particles. Magnesians lime was used as quicklime. **Results.** Stabilization of the soil with quicklime ground lime in an amount of 1% to 5% improves the workability and workability of clay by increasing the optimum moisture content by 2.4-13.5% and reducing the maximum density – 0.6-4.4%. With the introduction of quicklime ground lime in an amount of 1% to 10% in clay soil, the compressive strength of water-saturated samples at 7 days of age increases from 0.05 MPa to 1.34 MPa. It has been established that with the introduction of quicklime in an amount of 1% to 10% into the soil, there is a decrease in the degree of heaving and swelling due to a decrease in water absorption by weight from 24.85% to 13.34% and a decrease in the amount of dust and clay particles from 79.92% to 46.29%.

## 1 Introduction / Введение

На территории Российской Федерации в основном преобладают глинистые грунты [1]. Ограниченное применение их в дорожном строительстве связано со снижением физических и механических характеристик в результате влияния климатических факторов и нагрузок от движущихся транспортных средств [2].

Увеличение интенсивности движения, транспортной нагрузки и давления в шинах, привели ученых и инженеров к разработке более совершенных технологий [3], повышающих несущую способность дорожных одежд и земляного полотна [4]. Для строительства земляного полотна автомобильных дорог доступны различные виды глинистых грунтов, особенно в районах с



отсутствием прочных каменных материалов [5]. Однако, данные материалы обладают свойством снижения несущей способности, под влиянием воды [6], а также восприимчивы к различным условиям окружающей среды, что в свою очередь может привести к существенному повреждению покрытий автомобильных дорог и сокращению срока службы дорожной одежды [7].

Глинистые грунты имеют широкий спектр минералогического состава и состоят из различных видов глинистых и реликтовых минералов [2]. Они представляют собой продукт выветривания полевошпатовых и некоторых других силикатных пород, состоят преимущественно из монтмориллонита, каолинита и гидрослюд с примесью в основном реликтовых минералов (кварца, слюды, вторичного кальцита, опала и др.). Наибольшее распространение в грунтах среди глинистых минералов имеют каолинит и монтмориллонит [8].

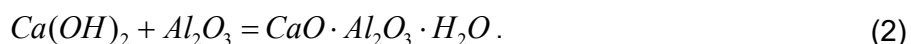
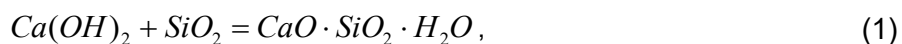
Стабилизация – это процесс изменения физико-механических свойств грунта для удовлетворения инженерных требований при строительстве. В качестве добавок к грунту для улучшения его физико-технических свойств использовались многочисленные виды стабилизаторов. Ряд стабилизаторов, таких как известь [9], [10], цемент [11], [12] и золы-уноса [13], [14], зависят от химических реакций с минералами грунта в присутствии воды [15]. Другие добавки, такие как геоволокно, георешетка и прочие, зависят от их физического воздействия на улучшение свойств грунта. Кроме того, можно комбинировать как химическую, так и физическую стабилизацию, например, используя известь и геотекстиль [16].

Эффективное выполнение технологических операций по строительству земляного полотна возможна лишь тогда, когда влажность обрабатываемого грунта не превышает оптимального стандартного уплотнения, при котором грунт находится в полутвердом состоянии, способен крошиться и уплотняться [17]. Однако в инженерной практике часто встречаются случаи, когда глинистые грунты находятся в переувлажненном состоянии, т.е. имеют влажность выше оптимальной. Переувлажненные грунты невозможно уплотнить [18]. При этом, естественное просыхание переувлажненных грунтов, особенно глинистых, происходит очень медленно, а применяемые в настоящее время искусственные способы высушивания малоэффективны или требуют больших расходов средств и времени [19].

Одним из наиболее эффективных, дешевых и быстрых методов снижения влажности, а также повышения несущей способности глинистых грунтов при строительстве земляного полотна является: стабилизация негашеной молотой известью [20], [21].

Поглощение воды является первым действием, которое происходит при добавлении в грунт извести (особенно негашеной). Химическая реакция грунта, стабилизированного известью, имеет две стадии. Первая стадия, известная как краткосрочная, происходит в течение нескольких часов или дней после добавления извести. На этой стадии протекают три основные химические реакции: катионный обмен, флокуляция, агрегирование и карбонизация. Для завершения второго этапа требуется несколько месяцев или лет, и поэтому он считается долгосрочным. Пуццолановая реакция является основной реакцией на этой стадии. Снижение влажности и повышение удобоукладываемости связано с краткосрочной стадией, а увеличение прочности и долговечности стабилизированного грунта связано с долгосрочной стадией [22].

Добавление извести в грунт приводит к образованию  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{OH}^-$ . При катионном обмене двухвалентные ионы кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) замещаются одновалентными катионами. Ионы  $\text{Ca}^{2+}$  связывают между собой минералы грунта (имеющие отрицательный заряд), тем самым уменьшая силы отталкивания и толщину диффузионного слоя воды. Этот слой инкапсулирует частицы грунта, укрепляя их связь между частицами. Оставшиеся анионы ( $\text{OH}^-$ ) в растворе ответственны за повышенную щелочность. После уменьшения толщины водного слоя частицы грунта становятся ближе друг к другу, что приводит к изменению механического состава грунта. Это явление называется флокуляцией-агрегацией. Кремнезем и глинозем, присутствующие в грунтовых минералах, становятся растворимыми и выделяются из грунта, когда pH превышает 12.4. Реакция между выделившимся растворимым кремнеземом и глиноземом и ионами кальция в результате гидратации извести создает вяжущие материалы, такие как гидрсиликаты кальция (C-S-H) и гидроалюминаты кальция (C-A-H). Эти пуццолановые реакции можно объяснить с помощью следующих химических уравнений [22, 23]:





Пуццолановые реакции зависят от времени и требуют длительных периодов времени (годы), потому что такие реакции зависят от температуры, количества кальция. Значение pH и процентное содержание кремнезема и глинозема в глинистых минералах. Следовательно, использование извести в качестве добавки-стабилизатора более эффективно для глинистых грунтов, с высоким содержанием глинистых минералов [24], [25].

На основании вышеизложенного, установлено, что повышение несущей способности земляного полотна негашеной молотой известью, установление закономерностей изменения физико-механических характеристик является актуальной темой исследований.

В этой связи, целью работы является исследование физико-механических характеристик стабилизированного глинистого грунта негашеной молотой известью для верха земляного полотна.

Для достижения поставленной цели решались задачи:

- 1) исследование основных физических свойств глинистого грунта, стабилизированного негашеной молотой известью;
- 2) определение влияния негашеной молотой извести на предел прочности при сжатии стабилизированного глинистого грунта.

## 2 Materials and Methods / Материалы и методы

В качестве грунта использован суглинок тяжелый пылеватый в соответствии с Российским государственным стандартом ГОСТ 25100-2020 [26]. Число пластичности грунта составляло 0.1463; содержание пылевидных и глинистых частиц – 79.92 %.

Гранулометрический состав определялся по Российскому государственному стандарту ГОСТ 12536-2014 [27], влажность на границе текучести, влажность на границе раскатывания и число пластичности определены по Российскому государственному стандарту ГОСТ 5180-2015 [28]. Максимальная плотность и оптимальная влажность исследованы в соответствии с ГОСТ 22733-2016 [29]. Предел прочности при сжатии стабилизированных образцов грунта испытан в соответствии с методикой, описанной в Российском государственном стандарте ГОСТ 23558-94 [30].

В качестве негашеной молотой извести применялась магнезиальная (сорт I) в соответствии с Российским государственным стандартом ГОСТ 9179-2018 [31] со следующими показателями: активность  $\text{CaO}+\text{MgO}$  – 85.2 %; содержание  $\text{MgO}$  и  $\text{CO}_2$  – 7.8 % и 4.4 % соответственно. Негашеная молотая известь вводилась в глинистый грунт от 1 до 10 % от массы глины с интервалом 1 %. Введение негашеной молотой извести в грунт в данных отношениях была выбрана для выявления закономерностей изменения физико-механических характеристик.

## 3 Results and Discussion / Результаты и обсуждение

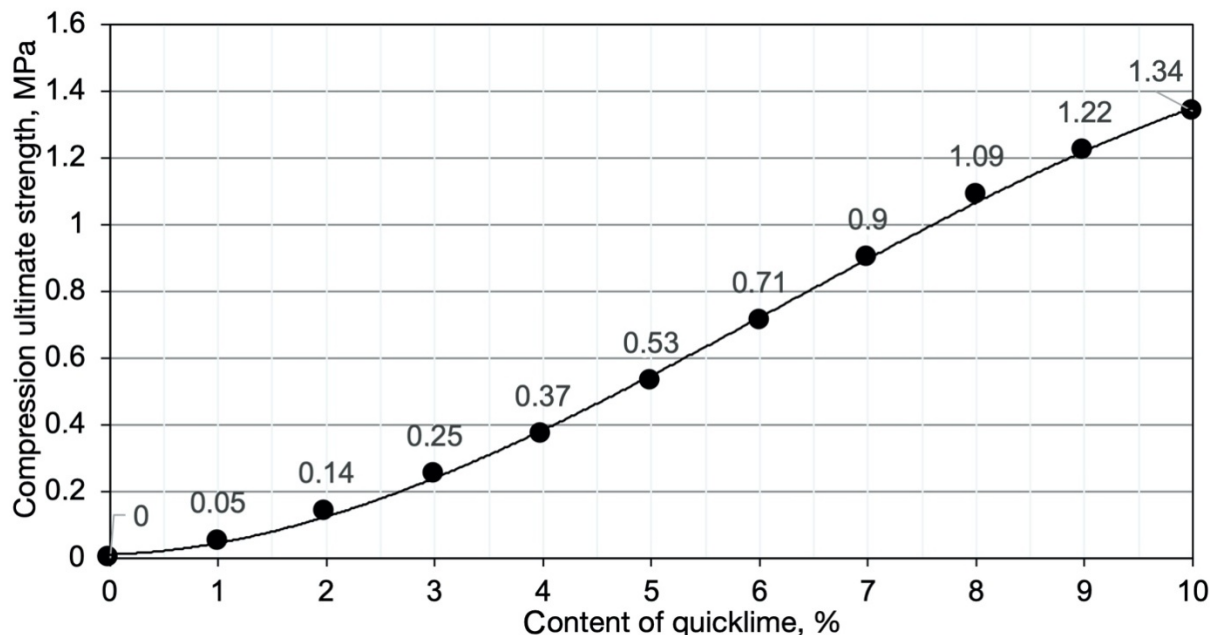
На рисунках 1-5 представлены зависимости влияния прочностных и физических свойств стабилизированного грунта от количества негашеной молотой извести: предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов в 7 суточном возрасте, водопоглощения по массе, влажности на границе текучести, влажности на границе раскатывания, числа пластичности, содержания пылевидных и глинистых частиц.

Как видно из рисунка 1, с введением негашеной молотой извести в количестве от 1 % до 10 % в глинистый грунт предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов в 7 суточном возрасте повышается от 0.05 МПа до 1.34 МПа. При этом прослеживается следующая тенденция. При введении негашеной молотой извести от 1 до 7 % в грунт происходит стабилизация грунта, так как прочность недостаточна для получения минимальной марки М10 по Российскому государственному стандарту ГОСТ 23558-94 [30]. Однако, при повышении негашеной молотой извести в количестве 8 % и более достигается марка по прочности М10 по Российскому государственному стандарту ГОСТ 23558-94 [30], что позволяет использовать укрепленный грунт в конструкциях дорожных одежд [32].

С введением негашеной молотой извести в количестве от 1 % до 10 % в грунт, снижается водопоглощение по массе от 24.85 % до 13.34 % (рисунок 2) и уменьшается количество пылевидных и глинистых частиц от 79.92 % до 46.29 % (рисунок 3). Данные результаты позволяют говорить о том, что происходит снижение степени пучинистости и набухаемости

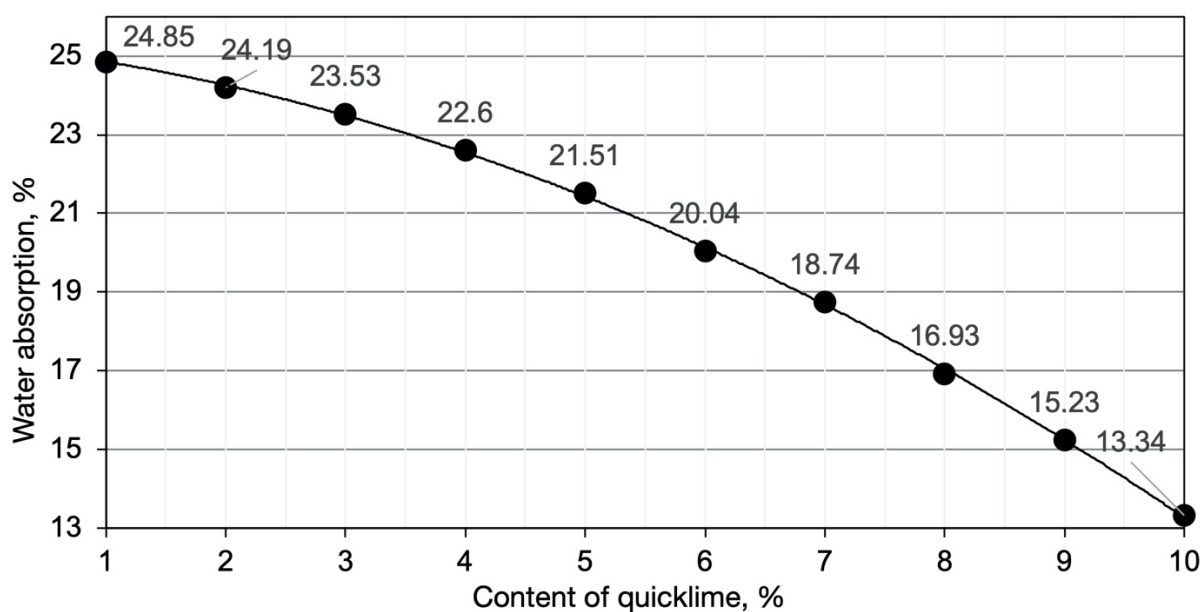
исследуемого стабилизированного грунта негашеной молотой известью [33]. Снижение водопоглощения по массе связано с заполнением пор новообразованиями и срачиванием кристаллов  $Ca(OH)_2$  и дальнейшей его карбонизацией в стабилизированном грунте с образованием более плотной структуры [34].

Кроме этого, повышается удобоукладываемость и удобообрабатываемость стабилизированного грунта из-за снижения числа пластичности от 14.63 до 8.65 (рисунок 4), что согласуется с данными исследований [35]. При введении 1 % и более негашеной молотой извести в исследуемый глинистый грунт, происходит изменение вида грунта до суглинка легкого пылеватого.



**Рис. 1 - Зависимость предела прочности при сжатии стабилизированного грунта от содержания негашеной молотой извести в 7 суточном возрасте**

**Fig. 1 - Dependence of the compressive strength of stabilized soil on the content of quicklime ground at 7 days of age**



**Рис. 2 - Зависимость водопоглощения по массе стабилизированного грунта от содержания негашеной молотой извести**

**Fig. 2 - Dependence of water absorption by mass of stabilized soil on the content of quicklime ground**



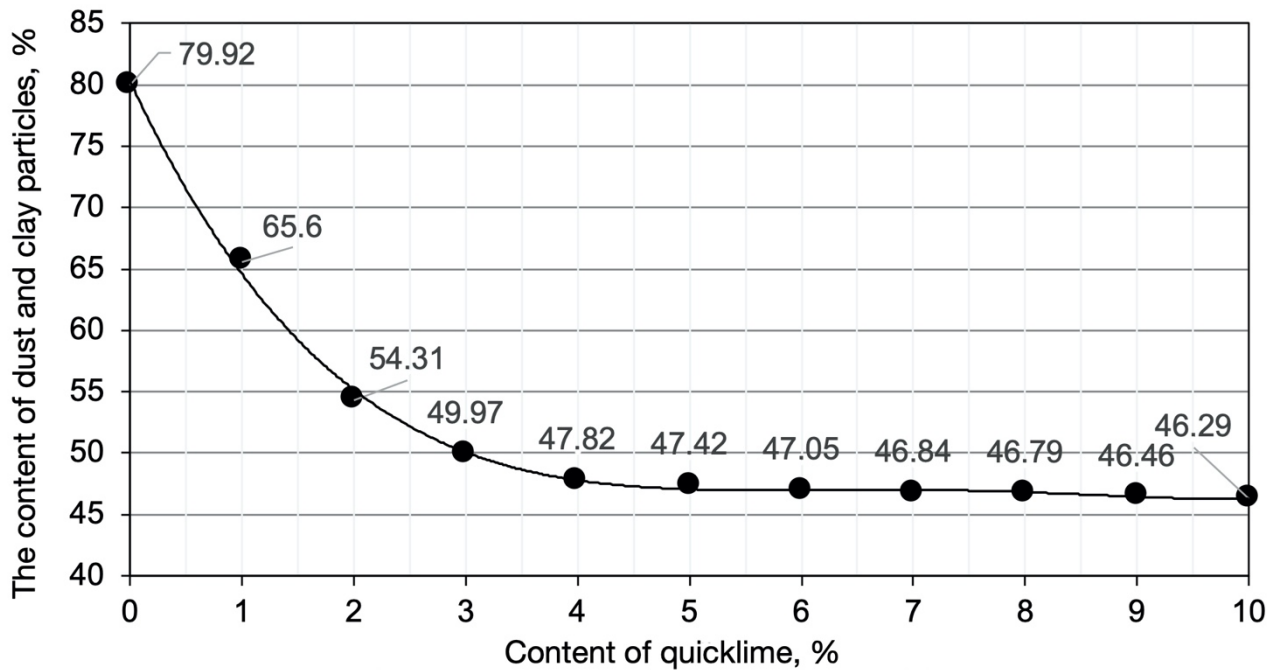


Рис. 3 - Зависимость содержания пылевидных и глинистых частиц в стабилизированном грунте от количества негашеной молотой извести

Fig. 3 - Dependence of the content of dust and clay particles in stabilized soil on the amount of quicklime ground

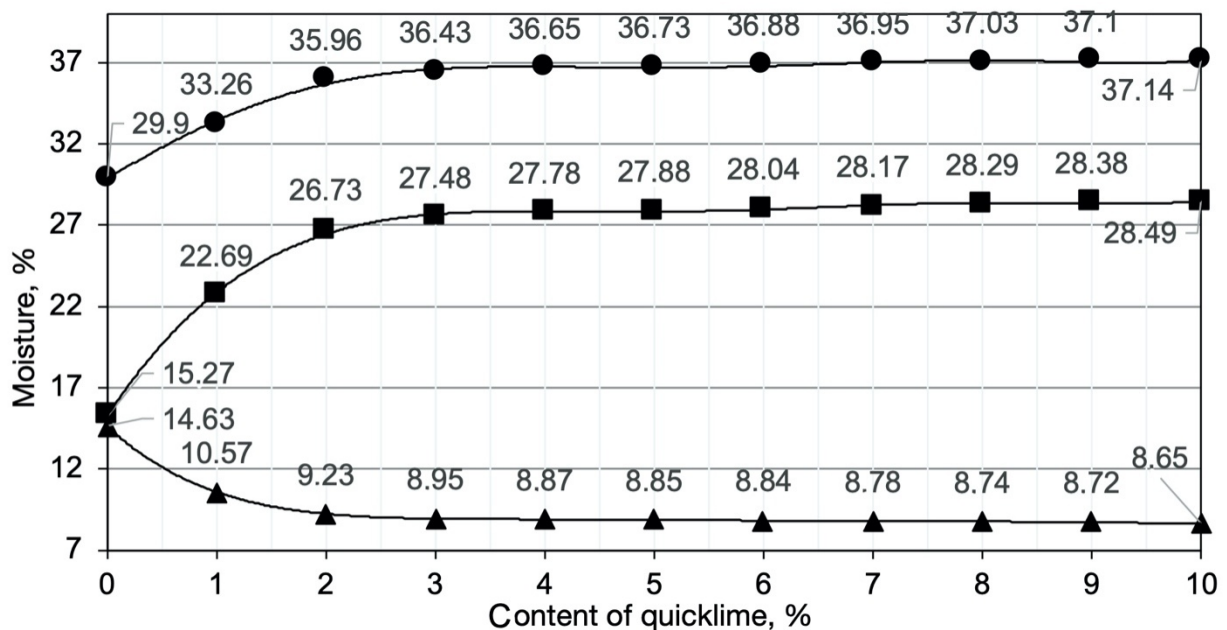


Рис. 4 - Зависимость числа пластичности, влажности на границе текучести и на границе раскатывания стабилизированного грунта от количества негашеной молотой извести

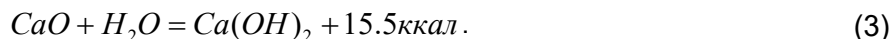
● – влажность на границе текучести; ▲ – число пластичности; ■ – влажность на границе раскатывания

Fig. 4 - Dependence of the plasticity number, moisture content at the yield boundary and at the boundary of rolling of stabilized soil on the amount of quicklime ground

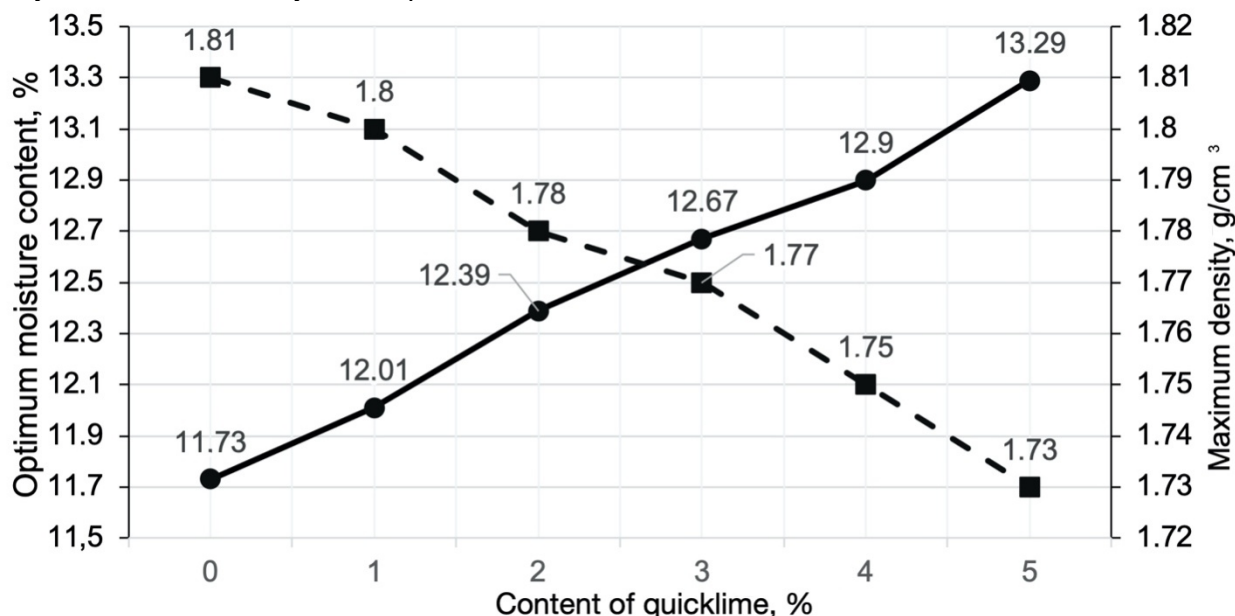
● – limit of liquidity; ▲ – Index of plasticity; ■ – limit of plasticity

Стабилизация грунта негашеной молотой известью в количестве от 1 % до 5 % позволяет повысить оптимальную влажность на 2.4-13.5 % и снизить максимальную плотность – 0.6-4.4 % (рисунок 5). Повышение оптимальной влажности позволяет снизить коэффициент

переувлажнения глинистого грунта. А в процессе гашения извести в переувлажненном грунте по реакции, представленной в формуле 1, происходит химическое взаимодействие с образованием  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а выделенная энергия превращает воду в пар, что также влияет на снижение коэффициента переувлажнения грунта [36]:



Снижение максимальной плотности глинистого грунта позволяет повысить удобоукладываемость и удобообрабатываемость глины.



**Рис. 5 - Зависимость максимальной плотности и оптимальной влажности стабилизированного грунта от количества негашеной молотой извести**

**Fig. 5 - Dependence of the maximum density and optimal moisture content of stabilized soil on the amount of quicklime ground**  
 — optimum moisture content; - - - - Maximum density

## 4 Conclusions / Заключение

1) Установлено, что с введением негашеной молотой извести в количестве от 1 % до 10 % в глинистый грунт предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов в 7 суточном возрасте повышается от 0.05 МПа до 1.34 МПа. При этом прослеживается следующая тенденция: при введении негашеной молотой извести от 1 до 7 % в грунт происходит стабилизация грунта, так как прочность недостаточна для получения минимальной марки М10 по Российскому государственному стандарту ГОСТ 23558-94. Однако, при повышении негашеной молотой извести в количестве 8 % и более достигается марка по прочности М10 по Российскому государственному стандарту ГОСТ 23558-94, что позволяет использовать укрепленный грунт в конструкциях дорожных одежд.

2) Установлено, что с введением негашеной молотой извести в количестве от 1 % до 10 % в грунт, происходит уменьшение степени пучинистости и набухаемости из-за снижения водопоглощения по массе от 24.85 % до 13.34 % и уменьшения количество пылевидных и глинистых частиц от 79.92 % до 46.29 %.

3) Выявлено, что стабилизация грунта негашеной молотой известью в количестве от 1 % до 5 % позволяет улучшить удобоукладываемость и удобообрабатываемость глины за счет повышения оптимальной влажности на 2.4-13.5 % и снижения максимальной плотности – 0.6-4.4 %. Повышение оптимальной влажности приводит к снижению коэффициента переувлажнения глинистого грунта. А в процессе гашения извести в переувлажненном грунте происходит химическое взаимодействие с образованием  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а выделенная энергия превращает воду в пар, что также влияет на снижение коэффициента переувлажнения грунта. Повышение степени

Vdovin, E.A.; Bulanov, P.E.; Mavliev, L.F.;

Physical and mechanical characteristics of soil stabilized with quicklime for road bed;

2022; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **105** Article No 10503. doi: 10.4123/CUBS.105.3



обрабатываемости грунта при технологических операциях по возведению земляного полотна связана со снижением числа пластичности от 14.63 до 8.65. При введении 1 % и более негашеной молотой извести в исследуемый глинистый грунт, происходит изменение вида грунта до суглинка легкого пылеватого.

## References

- 1) Vdovin, E., Bulanov, P., Mavliev, L. (2021) Modification of Cement-Sand-Gravel Mixtures with Waste from Road Construction Industries. *Izvestiya KGASU*, 3(57), 32-40, [https://doi.org/10.52409/20731523\\_2021\\_3\\_32](https://doi.org/10.52409/20731523_2021_3_32).
- 2) Vdovin, E., Bulanov, P., Stroganov, V., Mavliev, L. (2023) Physical and Mechanical Characteristics of Modified Soil Cement with Polycarboxylate Superplasticizers. *Proceedings of STCCE. 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*, 291, 125-133, [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14623-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14623-7_10).
- 3) Baghini, M.S., Ismail, A., Karim, M.R., Shokri, F., Firoozi, A.A. (2014) Effect of Styrene-Butadiene Copolymer Latex on Properties and Durability of Road Base Stabilized with Portland Cement Additive. *Construction and Building Materials*, 68, 740-749, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.061>.
- 4) Goodary, R., Lecomte-Nana, G.L., Petit, C. Smith, D.S. (2012) Investigation of the Strength Development in Cement-Stabilised Soils of Volcanic Origin. *Construction and Building Materials*, 28(1), 592-598, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.054>.
- 5) Al-Amoudi, O.S.B., Khan, K., Al-Kahtani, N.S. (2010) Stabilization of a Saudi Calcareous Marl Soil. *Construction and Building Materials*, 24(10), 1848-1854, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.019>.
- 6) Basha, E.A., Hashini, R. Mahmud, H.B., Muntohai, A.S. (2005) Stabilization of Residual Soil with Rice Husk Ash and Cement. *Construction and Building Materials*, 19(6), 448-453, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.08.001>.
- 7) Horpibulsuk, S., Radian, R., Chinkulkijniwat, A., Raksachon, Y., Suddeepong, A. (2010) Analysis of Strength Development in Cement-Stabilized Silty Clay from Microstructural Considerations. *Construction and Building Materials*, 24(10), 2011-2021, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.011>.
- 8) Huang, Y., Fan, W., Wu, J., Xiang, X., Wang, G. (2022) Experimental Study on Strength and Microstructure of Glacial Till Stabilized by Ionic Soil Stabilizer. *Buildings*, 12, 1446. <https://doi.org/10.3390/buildings12091446>.
- 9) Ojuri, O.O., Adavi, A.A., Oluwatuyi, O.E. (2017) Geotechnical and Environmental Evaluation of Lime-Cement Stabilized Soil-Mine Tailing Mixtures for Highway Construction. *Transportation Geotechnics*, 10, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2016.10.001>.
- 10) Zhou, S.-Q., Zhou, D.-W., Zhang, Y.-F., Wang, W.-J., Li, D. (2019) Research on the Dynamic Mechanical Properties and Energy Dissipation of Expansive Soil Stabilized by Fly Ash and Lime. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2019/5809657>.
- 11) Gu, J., Lyu, H., Yang, J., Zeng, C. (2022) Effects of Cement Content and Curing Period on Geotechnical Properties of Cement-Treated Calcareous Sands. *Transportation Geotechnics*, 33(1), 100732. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100732>.
- 12) Pu, S., Zhu, Z., Zhao, L., Song, W., Wan, Y., Huo, W., Wang, H., Yao, K., Hu, L. (2020) Microstructural Properties and Compressive Strength of Lime or/and Cement Solidified Silt: A Multi-Scale Study. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79(3), 5141-5159, <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01910-y>.
- 13) Yang, S., Liu, W. (2019) The Effect of Changing Fly Ash Content on the Modulus of Compression of Stabilized Soil. *Materials*, 12(18), 2925, <https://doi.org/10.3390/ma12182925>.
- 14) Ma, C., Zhao, B., Long, G., Sang, X., Xie, Y. (2018) Quantitative Study on Strength Development of Earth-Based Construction Prepared by Organic Clay and High-Efficiency Soil Stabilizer. *Construction and Building Materials*, 274, 520-528. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.119>.
- 15) Abbey, S.J., Eyo, U.E., Okeke, C.A.U., Ngambi S. (2021) Experimental Study on the Use of RoadCemBlended with By-Product Cementitious Materials for Stabilisation of Clay Soils. *Construction and Building Materials*, 280, 122476. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122476>.



- 16) Arun kumar, M., Kulanthaivel, P., Selvapraveen, S., Vinodhkumar, S., Naveenraj, V. (2020) Strength Behaviour of Clay Soil Stabilized With Lime. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 961, 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/961/1/012003>.
- 17) Barwar, A., Chandrappa, A.K., Sahoo, U.C. (2022) Laboratory Investigations on Stabilization of Weak Clay Soil Using Rice Husk Ash and Cement. Innovative Infrastructure Solutions, 7(5), 327. <https://doi.org/10.1007/S41062-022-00924-7>.
- 18) Firoozi, A.A., Guney, O.C., Firoozi, A.A. (2017) Fundamentals of Soil Stabilization. International Journal of Geo-Engineering, 8(1), 26, <https://doi.org/10.1186/s40703-017-0064-9>.
- 19) Roshan, K., Choobbasti, A., Soleimani, K., Fakhrabadi, A. (2021) The Effect of Adding Polypropylene Fibers on the Freeze-Thaw Cycle Durability of Lignosulfonate Stabilised Clayey. Cold Regions Science and Technology, 193(3), 103418. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2021.103418>.
- 20) Ayodele, F.O., Fajimi, M.S., Alo, B.A. (2022) Stabilization of Tropical Soil Using Calcium Carbide Residue and Rice Husk Ash. Materials Today: Proceedings, 60(1), 216-222. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.465>.
- 21) Ibtehaj, T.J., Mohd, R.T., Zaid, H.M., Tanveer, A.K. (2014) Soil Stabilization Using Lime: Advantages, Disadvantages and Proposing a Potential Alternative. Journal of Applied. Research Sciences. Engineering and Technology, 8(4), 510-520, <https://doi.org/10.19026/rjaset.8.1000>.
- 22) Arun, K.M., Kulanthaivel, P., Selvapraveen, S., Vinodhkumar, V. (2020) Strength Behaviour of Clay Soil Stabilized With Lime. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 961(1), 012003, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/961/1/012003>.
- 23) Yilmaz, F., Demir E. (2019) Freezing-Thawing and Wetting-Drying Behavior of Clayey Soil Stabilized with Lime and Silica Fume. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(3), 1724-1732, <https://doi.org/10.18185/erzifbed.654104>.
- 24) Kushwaha, J.R. Kirar, D.B. (2021) A Study of Black Cotton Soil Stabilization with Lime and Waste Plastic Bottle Stirrup. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 9(3), 1218-1223, <https://doi.org/10.37896/YMER21.08/34>.
- 25) Aldaood, A., Bouasker, M., Al-Mukhtar, M. (2020) Mechanical Behavior of Gypseous Soil Treated with Lime. Geotechnical and Geological Engineering, 39(2), 719-733. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01517-w>.
- 26) ГОСТ 25100-2020. Soils. Classification. <https://docs.cntd.ru/document/1200174302?ysclid=lgf5je3qlx797540969>.
- 27) GOST 12536-2014. Soils. Methods of laboratory granulometric (grain-size) and microaggregate distribution. <https://docs.cntd.ru/document/1200116022?ysclid=lgf5kmj2kc376874756>.
- 28) GOST 5180-2015. Soils. Laboratory methods for determination of physical characteristics. <https://docs.cntd.ru/document/1200126371?ysclid=lgf5ld77i5624867574>.
- 29) GOST 22733-2016. Soils. Laboratory method for determining of maximum density. <https://docs.cntd.ru/document/1200137273?ysclid=lgf5maaumx977943569>.
- 30) GOST 23558-94. Crushed stone-gravel-sandy mixtures, and soils treated by inorganic binders for road and airfield construction. Specifications. <https://docs.cntd.ru/document/901705984?ysclid=lgf5n34i3s763771527>.
- 31) GOST 9179-2018. Lime for building purposes. Specifications. <https://docs.cntd.ru/document/1200160711?ysclid=lgf5nuf2eo744069789>.
- 32) Bulanov, P.E., Vdovin, E.A., Mavliev, L.F., Stroganov, V.F. (2017) Optimization of Composition and Investigation of the Effect of Complex Hydrophobic-Plasticizing Additive on Physico-Technical Properties Reinforced with Portland Cement Clay Soils. Izvestiya KGASU, 4(42), 376-383, <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30604738>.
- 33) Soundarya, M.K., Bhuvaneshwari, S. (2019) Soil Stabilization on Problematic Soil with Traditional Stabilizer. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 8(4), 11361-11364, <https://doi.org/10.35940/ijrteD5413.118419>.
- 34) Blomquist, J., Englund, J.-E., Berglund, K. (2022) Soil Characteristics and Tillage Can Predict the Effect of 'Structure Lime' on Soil Aggregate Stability. Soil Research, 60(4), 373-384, <https://doi.org/10.1071/SR21022>.
- 35) Pushpakumara, B.H.J., Mendis, W.S.W. (2022) Suitability of Rice Husk Ash (RHA) with lime as a soil stabilizer in geotechnical applications. International Journal of Geo-Engineering, 13(4), 1-12, <https://doi.org/10.1186/s40703-021-00169-w>.





36) Kannan, D.V., Banu, S., Jahana, J.A. (2019) Effects of Rice Husk Ash and Lime on Clay Soil Stabilization. Modern Approaches on Material Science, 1(5), 134-139, <https://doi.org/10.32474/mams.2019.01.000121>.