

А.А. ДОЛЕВ¹, В.А. АЛЕКСЕЕВ², О.Ю. БАЖЕНОВА³

¹АО «Мосинжпроект», г. Москва, Россия

²ООО «Институт Мосинжпроект», г. Москва, Россия

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

ПОДБОР РАСХОДОВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ СВАЙ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. Укрепление грунтов по струйной технологии в сложных грунтовых условиях в настоящее время получило широкое распространение в том числе при строительстве заглубленных и подземных сооружений. При этом накопилось достаточное количество опытных данных для прогнозирования свойств получаемого грунтоцемента. Цель работы заключается в определении оптимальных расходов материалов для грунтоцементных конструкций с учётом сложных инженерно-геологических условий. Изучение твердеющих систем на минеральной основе в водонасыщенных грунтах с включениями органических отложений или в условиях высокой фильтрации, имеет ряд особенностей, затрудняющих назначение оптимальных технологий и компонентов растворов на цементной основе для формирования грунтоцементов. Для определения конечных параметров грунтоцементов анализировались параметры грунтоцементных свай на объектах при строительстве метрополитена, лабораторные данные при смешивании минеральных компонентов и грунтов разных типов, данные научно-технического сопровождения при контроле качества и приёмке работ. Изучена кинетика твердения грунтоцементов для различных грунтов при разных расходах цемента, зафиксирован положительный эффект от применения различных типов добавок при невозможности достижения проектных физико-механических свойств в сложных грунтовых условиях. Изучена эффективность достижения проектных прочностных характеристики грунтоцемента с определением минимального порога расходов цемента. При производстве опытных работ для подтверждения выбранного расхода цемента и технологических параметров цементации, отмечены особенности закрепления по технологии jet-grouting в грунтах разного типа.

Ключевые слова: грунтоцемент, закреплённый грунт, грунтобетон, струйная цементация, цементационное закрепление, усиление грунтов оснований, противотфильтрационная завеса.

A.A. DOLEV¹, V.A. ALEKSEEV², O.YU. BAZHENOVA³

¹Engineering company Mosinzhproekt, Moscow, Russia

²Department of Computer Science, Moscow, Russia

³National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia

SELECTION OF CONCRETE FORMULATIONS FOR THE CREATION OF SOIL-CEMENT PILES IN DIFFICULT ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

Abstract. Strengthening of soils by jet technology in difficult ground conditions has now become widespread, including in the construction of buried and underground structures. At the same time, a sufficient amount of experimental data has accumulated to predict the properties of the resulting soil cement. The purpose of the work is to determine the optimal consumption of materials for

soil-cement structures, taking into account complex engineering and geological conditions.

The study of mineral-based hardening systems in water-saturated soils with inclusions of organic deposits or in conditions of high filtration has a number of features that make it difficult to assign optimal technologies and components of cement-based solutions for the formation of soil cements. To determine the final parameters of soil cement, the parameters of soil cement piles at the facilities during the construction of the subway, laboratory data on mixing mineral components and soils of different types, scientific and technical data were analyzed.

Keywords: *soil cement, fixed soil, soil concrete, jet grouting, grouting, reinforcement of foundation soils, anti-seepage curtain.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nezhnikova E. The Use of underground city space for the construction of civil residential buildings. *Procedia Engineering*. Vol. 165. Pp. 1300-1304. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.854>.
2. Boschi K., di Prisco C.G., Ciantia M.O. 2019. Micromechanical investigation of grouting in soils. *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 187. Pp. 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2019.06.013>.
3. Джантимиров Х.А., Долев А.А. Опыт усиления основания сооружения с помощью струйной геотехнологии // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. №1. С. 34-37.
4. Heidari M., Tonon F. Ground reaction curve for tunnels with jet grouting umbrellas considering jet grouting hardening. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Vol. 76. Pp. 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2015.03.021>.
5. Makovetskiy O.A. Application of “jet grouting” for installation of substructures of estates. *Procedia Engineering*. Vol. 150. Pp. 2228-2231. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.269>.
6. Бройд И.И. Струйная геотехнология. Издательство АСВ. Москва. 2004 г. 448 стр.
7. Долев А.А., Алексеев В.А. Изменение границы применимости jet-технологии при укреплении грунтов в связи с накоплением практического опыта // Метро и тоннели. №4. 2021 г. С. 48-52.
8. Murat Olgun, Askar Kanat, Alican Senkaya Ibrahim Hakkı Erkan. Investigating the properties of jet grouting columns with fine-grained cement and silica fume // *Construction and Building Materials*. Volume 267. 18 January 2021. 120637. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120637.
9. Zhi-Feng Wang, Shui-Long Shen, Giuseppe Modoni. Enhancing discharge of spoil to mitigate disturbance induced by horizontal jet grouting in clayey soil: Theoretical model and application // *Computers and Geotechnics*. Volume 111. July 2019. Pages 222-228. DOI: 10.1016/j.compgeo.2019.03.012.
10. Mahdi Heidari, Fulvio Tonon. Ground reaction curve for tunnels with jet grouting umbrellas considering jet grouting hardening // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015. Volume 76, June Pages 200-208. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2015.03.021.
11. Малинин А.Г. Влияние режимов струйной цементации на диаметр грунтоцементных колонн // Метро и тоннели. 2013. № 4. С. 30.
12. Тер-Мартirosян З.Г., Струнин П.В. Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии струйной цементации грунтов // Вестник МГСУ. 2010. № 4-2. С. 310-31.
13. Zhi-Feng Wang, Shui-Long Shen, Giuseppe Modoni. Enhancing discharge of spoil to mitigate disturbance induced by horizontal jet grouting in clayey soil: Theoretical model and application // *Computers and Geotechnics*, Volume 111. July 2019. Pages 222-228. DOI: 10.1016/j.compgeo.2019.03.012.
14. Makovetskiy O.A.. Application of “Jet Grouting” for Installation of Substructures of Estates // *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pages 2228-2231. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.269.
15. Kashevarova G.G., Makovetskiy O.A. Analysis of Experimental and Estimated Jet-grouted Soil Mass Deformations // *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pages 2223-2227. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.268.
16. Hamza Güllü. On the viscous behavior of cement mixtures with clay, sand, lime and bottom ash for jet grouting // *Construction and Building Materials*. 15 September 2015. Volume 93. Pages 891-910. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.072.
17. Hamza Güllü. A new prediction method for the rheological behavior of grout with bottom ash for jet grouting columns // *Soils and Foundations*. June 2017. Volume 57. Issue 3. Pages 384-396. DOI: 10.1016/j.sandf.2017.05.006.
18. Nuno Cristelo, Edgar Soares, Ivo Rosa, Tiago Miranda, Ana Chaves. Rheological properties of alkaline activated fly ash used in jet grouting applications // *Construction and Building Materials*. November 2013. Volume 48. Pages 925-933. DOI: 10.1016/j.conbuildmat. 2013.07.063.
19. Makovetskiy O.A.. Application of “Jet Grouting” for Installation of Substructures of Estates // *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pages 2228-2231. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.269.

20. Axelsson M., Gustafson G. The PenetraCone, a new robust field measurement device for determining the penetrability of cementitious grouts// *Tunnelling and Underground Space Technology*. January 2010. Volume 25. Issue 1. Pages 1-8. DOI: 10.1016/j.tust.2009.06.004.
21. Katia Boschi, Claudio Giulio di Prisco, Matteo Oryem Ciantia. Micromechanical investigation of grouting in soils // *International Journal of Solids and Structures*, 15 June 2019. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2019.06.013.

REFERENCES

1. Nezhnikova E. The Use of underground city space for the construction of civil residential buildings. *Procedia Engineering*. Vol. 165. Pp. 1300-1304. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.854>.
2. Boschi K., di Prisco C.G., Ciantia M.O. 2019. Micromechanical investigation of grouting in soils. *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 187. Pp. 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2019.06.013>.
3. Dzhanimirov Kh.A., Dolev A.A. Experience of strengthening the foundation of a structure using jet geotechnology // *Foundations, foundations and soil mechanics*. 2006. No. 1. Pp. 34-37.
4. Heidari M., Tonon F. Ground reaction curve for tunnels with jet grouting umbrellas considering jet grouting hardening. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Vol. 76. Pp. 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2015.03.021>.
5. Makovetskiy O.A. Application of “jet grouting” for installation of substructures of estates. *Procedia Engineering*. Vol. 150. Pp. 2228-2231. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.269>.
6. Broyd I.I. Jet geotechnology. Publishing house ASV. Moscow. 2004. 448 p.
7. Dolev A.A., Alekseev V.A. Change in the applicability limit of jet technology in soil strengthening in connection with the accumulation of practical experience // *Metro and tunnels*. 2021.No. 4. Pp. 48-52.
8. Murat Olgun, Askar Kanat, AlicanSenkaya Ibrahim Hakkı Erkan. Investigating the properties of jet grouting columns with fine-grained cement and silica fume // *Construction and Building Materials*. Volume 267. 18 January 2021. 120637. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120637.
9. Zhi-Feng Wang, Shui-Long Shen, Giuseppe Modoni. Enhancing discharge of spoil to mitigate disturbance induced by horizontal jet grouting in clayey soil: Theoretical model and application // *Computers and Geotechnics*. Volume 111. July 2019. Pages 222-228. DOI: 10.1016/j.compgeo.2019.03.012.
10. Mahdi Heidari, Fulvio Tonon. Ground reaction curve for tunnels with jet grouting umbrellas considering jet grouting hardening // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015. Volume 76, June Pages 200-208. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2015.03.021.
11. Malinin A.G. Influence of jet cementation regimes on the diameter of soil-cement columns // *Metro and tunnels*. 2013. No. 4. P. 30.
12. Ter-Martirosyan ZG, Strunin P.V. Strengthening of weak soils at the base of foundation slabs using the technology of jet cementation of soils // *Vestnik MGSU*. 2010. No. 4-2. P. 310-31.
13. Zhi-Feng Wang, Shui-Long Shen, Giuseppe Modoni. Enhancing discharge of spoil to mitigate disturbance induced by horizontal jet grouting in clayey soil: Theoretical model and application // *Computers and Geotechnics*. July 2019. Volume 111. Pages 222-228. DOI: 10.1016/j.compgeo.2019.03.012.
14. Makovetskiy O.A. Application of “Jet Grouting” for Installation of Substructures of Estates // *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pages 2228-2231. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.269.
15. Kashevarova G.G., Makovetskiy O.A.. Analysis of Experimental and Estimated Jet-grouted Soil Mass Deformations // *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pages 2223-2227. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.268.
16. Hamza Güllü. On the viscous behavior of cement mixtures with clay, sand, lime and bottom ash for jet grouting // *Construction and Building Materials*. 15 September 2015. Volume 93. Pages 891-910. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.072.
17. Hamza Güllü. A new prediction method for the rheological behavior of grout with bottom ash for jet grouting columns // *Soils and Foundations*. June 2017. Volume 57. Issue 3. Pages 384-396. DOI: 10.1016/j.sandf.2017.05.006.
18. Nuno Cristelo, Edgar Soares, Ivo Rosa, Tiago Miranda, Ana Chaves. Rheological properties of alkaline activated fly ash used in jet grouting applications // *Construction and Building Materials*. November 2013. Volume 48. Pages 925-933. DOI:10.1016/j.conbuildmat. 2013.07.063.
19. Makovetskiy O.A.. Application of “Jet Grouting” for Installation of Substructures of Estates // *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pages 2228-2231. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.269.
20. Axelsson M., Gustafson G. The PenetraCone, a new robust field measurement device for determining the penetrability of cementitious grouts// *Tunnelling and Underground Space Technology*. January 2010. Volume 25. Issue 1. Pages 1-8. DOI: 10.1016/j.tust.2009.06.004.
21. Katia Boschi, Claudio Giulio di Prisco, Matteo Oryem Ciantia. Micromechanical investigation of grouting in soils // *International Journal of Solids and Structures*, 15 June 2019. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2019.06.013.

Информация об авторах:

Долев Андрей Андреевич

АО «Мосинжпроект», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, главный специалист.
E - mail: a_a_dolev77@mail.ru

Алексеев Вячеслав Александрович

ООО «Институт Мосинжпроект», г. Москва, Россия,
заместитель начальника управления по проектированию подземных сооружений и геотехнических изысканий.
E - mail: 634586@mail.ru

Баженова Ольга Юрьевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения.
E - mail: Bagenova54@mail.ru

Information about the authors:

Dolev Andrey An.

Company «Mosinjproekt», Moscow, Russia,
candidate of science in technics, main specialist.
E - mail: a_a_dolev77@mail.ru

Alekseev Vyacheslav Al.

Company «Institut Mosinjproekt», Moscow, Russia,
deputy head of the department for the Design of Underground Structures and Geotechnical Surveys.
E - mail: 634586@mail.ru

Bazhenova Olga Yu.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of Building Materials Science.
E - mail: Bagenova54@mail.ru