

Н.И. ШЕСТАКОВ¹, А.В. КОРШУНОВ¹, С.В. ПУТИЛИН¹

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ШЛАКА МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация. В статье рассматривается вариант укрепления грунтов земляного полотна автомобильных дорог комплексным вяжущим на основе гранулированного шлака медеплавильного производства и гидратной извести. Представлены характеристики исследуемого шлака, микрофотоснимки его поверхности, а также химический и фазовый составы. Выполнено подробное описание рентгенодифрактограммы исследуемого шлака с обработкой полученных рефлексов с использованием базы данных ICDD PDF-2. Проведены расчеты гидролитических равновесий с использованием основных фаз, найденных по данным рентгенофазового анализа. Расчетным методом установлено, что при уровне pH=11-12 в известково-шлаковой смеси протекает разложение силикатов и алюмосиликатов железа с образованием гелей гидроксидов железа и алюминия, а также аморфного кремнезема. На основе полученного комплексного вяжущего изготовлены стандартные образцы укрепленного суглинистого грунта и определены его физико-механические свойства. Результаты проведенных экспериментов дают перспективную возможность для получения укрепленных грунтов на основе комплексного минерального вяжущего с прочностью на сжатие до 2,2 МПа.

Ключевые слова: шлак медеплавильного производства, купершлак, земляное полотно, грунты, укрепление грунтов, дорожное строительство.

N.I. SHESTAKOV¹, A.V. KORSHUNOV¹, S.V. PUTILIN¹

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF COPPER MELTING SLAG IN ROAD CONSTRUCTION

Abstract. The article discusses the option of strengthening the soils of the roadbed of highways with complex binders based on granular slag of copper smelting production and air lime. The characteristics of the investigated slag, photomicrographs of its surface, as well as the chemical and phase compositions are presented. A detailed description of the X-ray diffractogram of the studied slag with the processing of the obtained reflections using the ICDD PDF-2 database is presented. Calculations of hydrolytic equilibria were carried out using the main phases found from the data of X-ray phase analysis. It was found by the calculation method that at pH = 11-12 in the lime-slag mixture decomposition of iron silicates and aluminosilicates occurs with the formation of gels of iron and aluminum hydroxides, as well as amorphous silica. On the basis of the obtained complex binder, standard samples of strengthened soil based on loam were made and tested to determine the physical and mechanical properties. The results of the experiments carried out create an opportunity for obtaining hardened soils based on a complex mineral binder with a compressive strength of up to 2.2 MPa.

Keywords: copper smelting slag, roadbed, soils, soil strengthening, road construction.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Balaguera A., Carvajal G.I., Arias Y.P., Alberti J., Fullana-i-Palmer P. Technical feasibility and life cycle assessment of an industrial waste as stabilizing product for unpaved roads, and influence of packaging // Science of The Total environment. Vol. 651, P. 1. Pp. 1272–1282.
2. Дмитриева Т.В., Строкова В.В., Безродных А.А. Влияние генетических особенностей грунтов на свойства грунтобетонных на их основе // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №1. С. 69–77.

3. Gorai B., Jana R.K. Premchand; Characteristics and utilisation of copper slag – a review. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol.39. 2003. P.299-313.
4. Харченко Е.М., Ульева Г.А., Егорова Т.Г., Рахимбеков С.С. Переработка шлаков медеплавильного производства // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 7. С. 30-33.
5. Tixier R, Devaguptapu R, Mobasher B.; the effect copper slag for hydration and mechanical properties of cementitious mixtures. *Cement and concrete Research*. Volume 27. No. 10. 1997. Pp. 1569-1580.
6. Murashev A.K., Kirkcaldie D.K., Keepa C., Cubrinovski M., Orense R., Lloyd J.N. The assessment of liquefaction and lateral spreading effects on bridges // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура*. 2014. №3. С. 17-23.
7. Li Z., Ma J., Yuan H. Research and practice on grouting technology with new cement-based/polymer composite // *Modeling and Computation in Engineering II*. 2013. T. 201. pp. 207–212.
8. Слободчикова Н.А. Научные основы подбора состава грунтов, укрепленных известью // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2017. №4. С. 62-68.
9. Самедов А. М., Ткач Д. В. Укрепление переувлажненных глинистых грунтов молотой негашеной известью или жженой магнезией // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2012. №2. С. 163-171.
10. Дмитриева Т.В., Куцына Н.П., Безродных А.А., Строкова В.В., Маркова И.Ю. Эффективность укрепления техногенного грунта минеральными модификаторами // *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*. 2019. №7. С. 14-23.
11. Игошева Л.А., Гришина А.С. Обзор основных методов укрепления грунтов основания // *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура*. 2016. №2. С. 5-21.
12. Khalifa S. Al-Jabri, Abdullah H. Al-Saidy, Ramzi Taha. Effect of copper slag as a fine aggregate on the properties of cement mortars and concrete. *Construction and Building Materials*. 2011. Vol.25. No.2. P.933-938.
13. Patel J.B., Solanki C.H., Tandel Y.K., Joseph J. Finite Element Modeling of Pervious Concrete Stone Column Composite Column Group for Ground Improvement // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9. Iss. 5. P. 889–895.
14. Rimal S., Poudel R.K., Gautam D. Experimental study on properties of natural soils treated with cement kiln dust // *Case Studies in Construction Materials*. Vol. 10. June 2019. e00223.
15. Pereira R.S. et al. Mechanical stabilization of soils as alternative for construction of low cost forest road // *Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais*. 2017. T. 5. №. 3. Pp. 212–217.
16. Karun Mani, Nigee K. A study on ground improvement using stone column technique // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2013. Vol. 2. Iss. 11. P. 6451–6456.
17. Nehab N., Latifi F.E., Bahi L., Baba K. Numerical Study On Soil Improvement Using The VibroStone Columns Technique “Case of Bouregreg Valley // *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. 2018. Vol. 9. Iss. 7. P. 147–159.
18. Pugh R.S. Briefing: Efficiency of stone-column groups installed in very soft clays // *Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 171. Iss. 2. P. 104–108.

REFERENCES

1. Balaguera A., Carvajal G.I., Arias Y.P., Alberti J., Fullana-i-Palmer P. Technical feasibility and life cycle assessment of an industrial waste as stabilizing product for unpaved roads, and influence of packaging // *Science of The Total environment*. Vol. 651, P. 1. Pp. 1272–1282
2. Дмитриева Т.В., Строкова В.В., Безродных А.А. Влияние генетических особенностей грунтов на свойства грунтобетона на их основе // *Строительные материалы и изделия*. 2018. P. 1. Vol 1. Pp. 69–77.
3. Gorai B., Jana R.K. Premchand; Characteristics and utilisation of copper slag – a review. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol.39, 2003; p.299-313
4. Harchenko E.M., Ul'eva G.A., Egorova T.G., Rahimbekov S.S. Pererabotka shlahov medeplavil'nogo proizvodstva // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2015. Vol. 7. Pp. 30-33.
5. Tixier R, Devaguptapu R, Mobasher B.; the effect copper slag for hydration and mechanical properties of cementitious mixtures. *Cement and concrete Research*, Volume 27, No. 10, 1997; pp. 1569-1580
6. Murashev A. K., Kirkcaldie D. K., Keepa C., Cubrinovski M., Orense R., Lloyd J. N. The assessment of liquefaction and lateral spreading effects on bridges // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура*. 2014. №3. С. 17-23.
7. Li Z., Ma J., Yuan H. Research and practice on grouting technology with new cement-based/polymer composite // *Modeling and Computation in Engineering II*. 2013. T. 201. pp. 207–212.
8. Slobodchikova N.A. Nauchnye osnovy podbora sostava gruntov, ukreplennyh izvest'yu // *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2017. Vol. 4. Pp. 62-68.
9. Samedov A. M., Tkach D. V. Ukreplenie pereuvlazhnennyh glinistykh gruntov molotoj negashenoj izvest'yu ili zhzhenoj magneziej // *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle*. 2012. Vol. 2. Pp. 163-171.
10. Дмитриева Т.В., Куцына Н.П., Безродных А.А., Строкова В.В., Маркова И.Ю. Эффективность укрепления техногенного грунта минеральными модификаторами // *Vestnik BGTU imeni V. G. Shuhova*. 2019. Vol. 7. Pp. 14-23.

11. Igosheva L.A., Grishina A.S. Obzor osnovnykh metodov ukrepleniya gruntov osnovaniya // Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arhitektura. 2016. Vol. 2. Pp. 5-21.
12. Khalifa S. Al-Jabri, Abdullah H. Al-Saidy, Ramzi Taha. Effect of copper slag as a fine aggregate on the properties of cement mortars and concrete. Construction and Building Materials, Vol.25, No.2, 2011; p.933-938
13. Patel J.B., Solanki C.H., Tandel Y.K., Joseph J. Finite Element Modeling of Pervious Concrete Stone Column Composite Column Group for Ground Improvement // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. Iss. 5. P. 889–895.
14. Rimal S., Poudel R.K., Gautam D. Experimental study on properties of natural soils treated with cement kiln dust // Case Studies in Construction Materials. Vol. 10. June 2019. e00223.
15. Pereira R.S. et al. Mechanical stabilization of soils as alternative for construction of low cost forest road // Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais, 2017. T. 5. №. 3. Pp. 212–217
16. Karun Mani, Nigee K. A study on ground improvement using stone column technique // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2013. Vol. 2. Iss. 11. P. 6451–6456.
17. Nehab N., Latifi F.E., Bahi L., Baba K. Numerical Study On Soil Improvement Using The VibroStone Columns Technique “Case of Bouregreg Valley // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). 2018. Vol. 9. Iss. 7. P. 147–159.
18. Pugh R.S. Briefing: Efficiency of stone-column groups installed in very soft clays // Geotechnical Engineering. 2018. Vol. 171. Iss. 2. P. 104–108.

Информация об авторах:

Шестаков Николай Игоревич

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

Коршунов Андрей Владимирович

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения.
E-mail: KorshunovAV@mgsu.ru

Путин Сергей Владимирович

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
магистрант кафедры строительного материаловедения.
E-mail: serg.putilin@gmail.com

Information about authors:

Shestakov Nikolay Ig.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of Building Materials Science.
E-mail: SHestakovNI@mgsu.ru

Korshunov Andrey V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, professor of the department of Building Materials Science.
E-mail: KorshunovAV@mgsu.ru

Putilin Sergei V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
graduate student of the department of Building Materials Science.
E-mail: serg.putilin@gmail.com