



УДК 691:624.138

Буланов П.Е. – ассистент

E-mail: f_lays@mail.ru

Мавлиев Л.Ф. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru

Вдовин Е.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: vdovin007@mail.ru

Захаров В.В. – студент

E-mail: vadimzaharov1994@mail.ru

Гимазов А.Р. – студент

E-mail: albertgimazov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Исследование влияния поликарбоксилатных суперпластификаторов на физические и прочностные свойства глинистых грунтов различного минерального состава

Аннотация

Проведены исследования влияния ряда поликарбоксилатных суперпластификаторов на физические и прочностные свойства глинистых грунтов. В качестве глинистых грунтов рассмотрены: суглинок легкий пылеватый с содержанием реликтовых минералов более 85 % (52,49 % кварца), каолиновая глина с содержанием минерала каолинита до 95 %, бентонитовая глина с содержанием монтмориллонита до 70 %. Получены данные по изменению числа пластичности, оптимальной влажности и максимальной плотности глинистых грунтов при введении поликарбоксилатных суперпластификаторов. Установлено положительное влияние таких добавок на предел прочности при сжатии глинистых грунтов.

Ключевые слова: поликарбоксилатный суперпластификатор, глинистый грунт, число пластичности, оптимальная влажность, максимальная плотность, предела прочности на сжатие.

Введение

Глинистые грунты имеют широкий спектр минералогического состава и могут состоять из различных видов глинистых (каолинит, иллит, смешанно-слоистый минерал, монтмориллонит и т.д.) и неглинистых минералов и веществ (кварц, полевопшпатовые, органические и коллоидные вещества). Даже небольшое количество глинистых минералов может оказать значительное влияние на физические и физико-механические свойства грунта [1, 2]. По минеральному составу глинистые грунты принято подразделять на мономинеральные (каолиновые, монтмориллонитовые, иллитовые и т.п.) и полиминеральные, состоящие из различных глинистых минералов и примесей – кварца, полевопшпата, оксидов железа, карбонатов и т.д. [3, 4].

Проведенные ранее исследования [5, 6] показали, что поликарбоксилатные суперпластификаторы (ПКС) по сравнению с другими ПАВ оказывают наибольший эффект в повышении физико-механических свойств цементогрунта, что, очевидно, связано в большей степени с влиянием ПКС на портландцемент [7]. Также известно, что введение в глинистые грунты различных по природе ПАВ в той или иной степени изменяет его структуру и свойства [8]. Это объясняется тем, что наличие в грунтах тонкодисперсных и коллоидных частиц ведет к значительному увеличению суммарной поверхности раздела между твердой фазой и жидкой средой и, следовательно, к увеличению свободной поверхностной энергии [9]. При этом повышается физическая и химическая активность частиц и возрастает адсорбционная способность их поверхности, что позволяет ПАВ, концентрируясь на поверхностях раздела, образовывать тончайшие адсорбированные слои, резко изменяющие молекулярную природу и свойства грунтовых

поверхностей [10]. Однако, недостаточно исследовано влияние ПКС на физические и прочностные свойства глинистых грунтов.

В связи с этим, целью данного исследования явилось изучение влияния поликарбоксилатных суперпластификаторов на физические и прочностные свойства суглинка легкого пылеватого с содержанием реликтовых минералов более 85 % (52,49 % кварца), бентонитовой глины с содержанием минерала монтмориллонита до 70 %, каолиновой глины с содержанием минерала каолинита до 95 %.

Экспериментальная часть

Для исследований использованы следующие глинистые грунты:

1) суглинок легкий пылеватый (СГ) Сахаровского месторождения Алексеевского района Республики Татарстан с числом пластичности 11,62 и содержанием песчаных частиц 8,38 %, рН водной вытяжки 8,7;

2) каолиновая глина (КГ) Самарской области с числом пластичности 18,07 и содержанием песчаных частиц 6,02 %, рН водной вытяжки 8,3;

3) бентонитовая глина (БГ) Биклянского карьера Тукаевского района Республики Татарстан с числом пластичности 22,32 и содержанием песчаных частиц 8,00 %, рН водной вытяжки 8,3.

В качестве ПКС применены следующие добавки:

1) Melflux 2641 F (Melflux), представляет собой желтоватый порошок, полученный методом распылительной сушки на основе модифицированного полиэфиркарбоксилата. Насыпная плотность 400-600 кг/м³, рН = 6,5–8,5, рекомендованная дозировка 0,2-1,5 % от массы вяжущего. Производитель BASF Construction Polymers (Trostberg, Германия).

2) Pantarhit PC 160 Plv (Pantarhit) представляет собой светло-серый порошок полученный методом распылительной сушки из раствора полимера. Активное вещество полиакриловая кислота. Насыпная плотность 300-600 кг/м³, рН = 6,5, рекомендованная дозировка 0,05-1,0 % от массы вяжущего. Производитель BASF Construction Polymers (Trostberg, Германия).

3) Одолит-К (Одолит) представляет собой водный раствор высокоэффективного пластификатора 1-ой группы на основе специальных карбоксилатов. Плотность 1,06 кг/м³, рН = 6-8, рекомендованная дозировка 0,4-1,5 % от массы вяжущего. Производитель ООО «Одолит».

4) Гиперлит представляет собой водный раствор сополимера на основе полиоксиэтиленовых производных ненасыщенных карбоновых кислот. Плотность 1,08 кг/м³, рН = 6,5, рекомендованная дозировка 0,2-1,5 % от массы вяжущего. Производитель ГК «СВАН».

Дозировки ПКС приняты 0,05 %, 0,5 %, 1 %, 2 % от массы глинистых грунтов.

В качестве физических свойств рассмотрены предел текучести и раскатывания, оптимальная влажность и максимальная плотность, прочностных – предел прочности на сжатие. Число пластичности (I_p) вычислено по ГОСТ 5180-84 как разница предела текучести (W_L) и предела раскатывания (W_p). Оптимальная влажность (W_{opt}) и максимальная (стандартная) плотность (ρ_{max}) в соответствии с ГОСТ 22733-2002 определена на приборе стандартного уплотнения СоюздорНИИ. Для установления предела прочности на сжатие ($R_{сж}$) готовились образцы с максимальной плотностью, которые 7 суток хранились в воздушных условиях, после чего сушились до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105 °С и испытывались на прессе. Результаты исследований приведены на рис. 1-3.

По данным представленным на рис. 1-3 видно, что среди исследованных ПКС наиболее эффективной оказалась добавка Pantarhit. С введением Pantarhit от 0,05 до 2 % от массы СГ оптимальная влажность уменьшилась на 1,38-17,79 %, максимальная плотность увеличилась до 4,79 %, число пластичности снизилось на 6,02-31,15 %, предел прочности при сжатии повысился на 38,69-70,49 %.

При введении Pantarhit от 0,05 до 2 % в КГ оптимальная влажность уменьшилась на 4,46-30,35 %, максимальная плотность увеличилась на 1,35-14,19 %, число пластичности снизилось на 8,02-51,63 %, предел прочности при сжатии повысился на 58,20-140,57 %.

Ведение Pantarhit от 0,05 до 2 % в БГ привело к уменьшению оптимальной влажности на 1,07-18,36 %, увеличению максимальной плотности на 1,32-11,84 %, снижению числа пластичности на 1,88-35,37 %, повышению предела прочности при сжатии на 2,76-115,86 %.

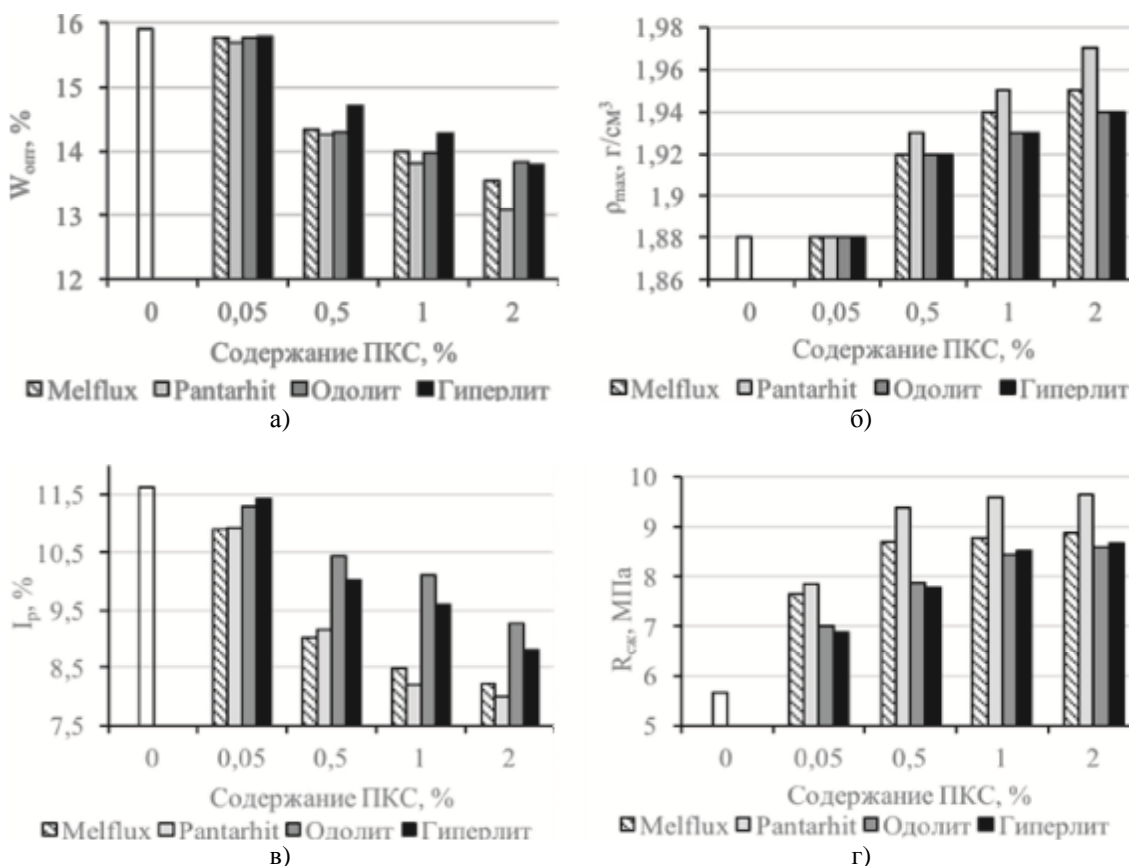


Рис. 1. Физические и прочностные свойства СГ в зависимости от дозировки ПКС:

а) оптимальная влажность; б) максимальная плотность;

в) число пластичности; г) предел прочности на сжатие

Обсуждение результатов

Поликарбоксилатный суперпластификатор Pantarhit показал максимальную эффективность в грунтах с наибольшим количеством глинистых минералов – каолинита и монтмориллонита. При этом прослеживается большее влияние добавки на каолиновую глину.

Известно, что отрицательный заряд у глинистых минералов всегда сохраняется на базальных плоскостях, а на сколах знак заряда меняется в зависимости от водородного показателя рН (при рН ниже 7 – положительный заряд, при рН выше 7 – отрицательный заряд). В рассмотренных грунтах СГ, КГ и БГ водородный показатель рН выше 7, а, следовательно, на присутствующих глинистых минералах будут адсорбироваться только катионные ПАВ. Тем более, в случае укрепления цементом даже кислых глинистых грунтов происходит повышение значения рН, а гидратированные группы глинистых минералов будут частично депротонироваться [11]. Однако, ПКС не имея катионных групп, согласно полученным экспериментальным данным значительно изменяют физические и прочностные свойства глинистых грунтов, в том числе при укреплении цементом.

В ряде исследований [12-15] показано, что ПКС могут адсорбироваться на глинистых минералах даже при отрицательном заряде сколов и базальных плоскостей. Это объясняется способностью боковых цепей ПКС, имеющих схожий состав с полиэтиленгликолями, адсорбироваться на алюмосиликатных слоях глинистых минералов через водородные связи [14, 16, 17].

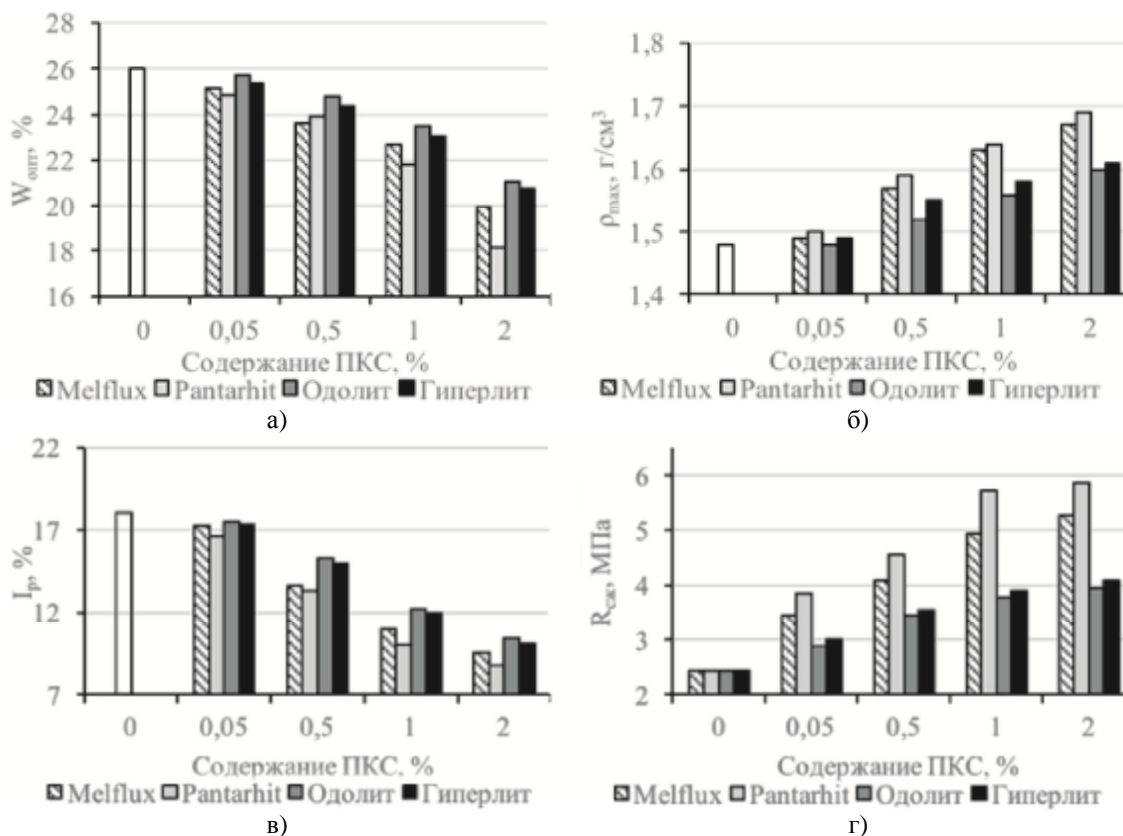


Рис. 2. Физические и прочностные свойства КГ в зависимости от дозировки ПКС:
 а) оптимальная влажность; б) максимальная плотность;
 в) число пластичности; г) предел прочности на сжатие

По данным [18-20] при введении в глинистый грунт ПКС увеличивается толщина базального отражения монтмориллонита с 1,23 до 1,72-1,77 нм, а каолинита и мусковита не изменяется. При этом монтмориллонит сорбирует в себя ПКС около 230 мг/г, а каолинит и мусковит около 20 мг/г, что, возможно, объясняет более эффективное действие ПКС на КГ, в сравнении с БГ.

Как известно, в системе глина-вода образуется сплошная пространственная сетка с коагуляционной структурой, приобретающая пластично-вязкие свойства. Увеличение толщины водных оболочек оказывает пластифицирующее действие на глину, при этом снижая прочность структуры и ее способность к остаточным деформациям [10, 21]. Адсорбция же ПАВ на глинистых минералах в системе глина-вода позволяет снизить поверхностную энергию на границе раздела фаз, что способствует повышению плотности за счет уменьшения водопотребности (оптимальной влажности), снижению предела текучести и раскатывания [10, 21], а в конечном итоге и увеличению прочности грунта [22].

Заключение

Добавка Pantarhit показала наибольшую эффективность среди рассмотренных поликарбоксилатных суперпластификаторов, позволив снизить оптимальную влажность и число пластичности, повысить максимальную плотность и предел прочности на сжатие суглинка легкого пылеватого, каолиновой и бентонитовой глины. Положительное влияние поликарбоксилатных суперпластификаторов как на физико-механические характеристики цементного камня, так и на физические и прочностные свойства глинистых грунтов объясняет рост прочности и морозостойкости цементогрунтов, модифицированных такими добавками.

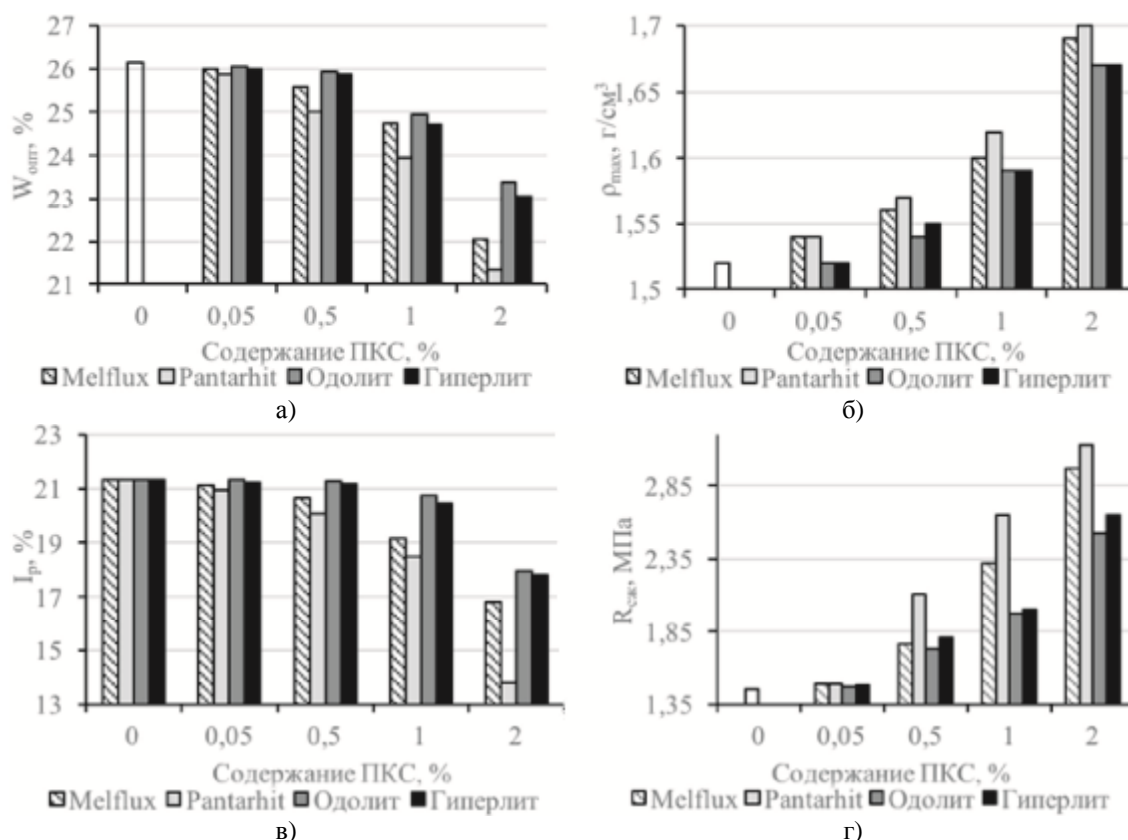


Рис. 3. Физические и прочностные свойства БГ в зависимости от дозировки ПКС:

- а) оптимальная влажность; б) максимальная плотность;
в) число пластичности; г) предел прочности на сжатие

Список библиографических ссылок

1. Bell F.G. Lime stabilization of clay minerals and soils // *Engineering Geology*, 1996, № 42. – P. 223-237.
2. Грим Р.Е. Минералогия глин. – М.: Издательство иностранной литературы, 1959. – 452 с.
3. Шелихов Н.С., Рахимов Р.З. Строительные материалы из местного карбонатного сырья. – М.: Издательство КГАСУ, 2015. – 324 с.
4. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Стоянов О.В. Глинистые пуццоланы. Часть 1. Обзор // *Вестник технологического университета*, 2016, № 1 (19). – С. 5-13.
5. Буланов П.Е., Вдовин Е.А., Мавлиев Л.Ф. Влияние пластифицирующих добавок на физико-механические свойства цементогрунта дорожного назначения // *Известия КГАСУ*, 2015, № 1 (31). – С. 160-164.
6. Буланов П.Е., Мавлиев Л.Ф., Вдовин Е.А. Оптимизация состава щебеночно-песчаной смеси, обработанной портландцементом в комплексе с пластифицирующей и гидрофобизирующей добавкой // *Известия КГАСУ*, 2015, № 2 (32). – С. 300-305.
7. Калашников В.И., Володин В.М., Мороз М.Н., Ерофеева И.В., Петухов А.В. Супер- и гиперпластификаторы. Микрокремнеземы. Бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности // *Молодой ученый*, 2014, № 19. – С. 207-210.
8. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика, как основа закрепления грунтов в дорожном строительстве и производстве строительных материалов на основе грунтов // *Труды совещания по теоретическим основам технической мелиорации грунтов*. – М.: МГУ, 1961. – С. 4-12.

9. Могилевич В.М., Щербакова Р.П., Тюменцева О.В. Дорожные одежды из цементогрунта. – М.: Транспорт, 1972. – 215 с.
10. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. Избранные труды. – М.: Наука, 1978. – 368 с.
11. Tombacz E., Szekeres M. Colloidal behavior of aqueous montmorillonite suspensions: the specific role of pH in the presence of indifferent electrolytes // *Appl. Clay Sci.*, 2004, № 27. – С. 75-94.
12. Jeknavorian A.A., Jardine L., Ou C.C., Koyata H., Folliard K.J. Interaction of superplasticizers with clay-bearing aggregates // *Special publication ACI/7th CANMET conference on superplasticizers and other chemical admixtures.* – Berlin (Germany), 2003. – P. 1293-1316.
13. Sakai E., Atarashi D., Daimon M. Interaction between superplasticizers and clay minerals // *Special Publication ACI/6th CANMET Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures.* – Xi'an (China), 2006. – P. 1560-1566.
14. Atarashi D., Sakai E., Obinata R., Daimon M. Interactions between superplasticizers and clay minerals // *Cem. Sci. Concr Technol*, № 58, 2004. – P. 387-392.
15. Atarashi D., Sakai E., Obinata R., Daimon M. Influence of clay minerals on fluidity of CaCO₃ suspension containing comb-type polymer // *Cem. Sci. Concr. Technol*, № 57, 2003. – P. 386-391.
16. Amarasinghe P.M., Katti K.S., Katti D.R. Nature of organic fluid-montmorillonite interactions: an FTIR spectroscopic study // *Colloid and Interface Science*, № 337, 2009. – P. 97-105.
17. Burchill S., Hall P.L., Harrison R., Hayes M.H.B., Langford J.I., Livingston W.R., Smedley R.J., Ross D.K., Tuck J.J. Smectite-polymer interactions in aqueous systems // *Clay Minerals*, № 18, 1983. – P. 373-397.
18. Ng S., Plank J. Interaction mechanisms between Na montmorillonite clay and MPEG-based polycarboxylate superplasticizers // *Cement and Concrete Research*, № 42, 2012. – P. 847-854.
19. Suter J.L., Coveney P.V. Computer simulation study of the materials properties of intercalated and exfoliated poly(ethylene) glycol clay nanocomposites // *Soft mater*, № 5 (11), 2009. P. 2239-2251.
20. Lei L., Plank J. A study on the impact of different clay minerals on the dispersing force of conventional and modified vinyl ether based polycarboxylate superplasticizers // *Cement and Concrete Research*, № 6, 2014. – P. 1-10.
21. Овчаренко Ф.Д. Гидрофильность глин и глинистых минералов. – М.: Издательство Академии наук УССР, 1961. – 292 с.
22. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А. Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Грунтоведение. – Киев: Издательство МГУ, 2005. – 1024 с.

Bulanov P.E. – assistant

E-mail: f_lays@mail.ru

Mavliev L.F. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru

Vdovin E.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: vdovin007@mail.ru

Zaharov V.V. – student

E-mail: vadimzaharov1994@mail.ru

Gimazov A.R. – student

E-mail: albertgimazov@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The investigation of the effect of polycarboxylate superplasticizer on the physical and strength properties of clay soils with different mineral composition

Resume

Investigations of the influence of a number of polycarboxylate superplasticizers on the physical and mechanical properties of clay soils were done. As clay soils were considered: the silty easy loam with containing of relict minerals more than 85 % (52,49 % quartz), the kaolinic clay with containing of the mineral kaolinite up to 95 %, the bentonite clay with containing of montmorillonite up to 70 %. As the physical properties were chosen the fluidity and rolling-out limit, the optimum moisture content and the maximum density, strength – the ultimate compressive strength. Data on changes in the properties with the introduction of polycarboxylate superplasticizers was got.

The most effective polycarboxylate superplasticizer showed maximum efficiency. It determined that in the ground with the most clay minerals traced greater influence these additives, especially in case of kaolinic clay.

Adsorption surface-active reagents on clay minerals surfactants in clay-water system lets to reduce the surface energy on the interface, thereby increasing the density by decreasing the water requirement (optimum moisture content), lower fluidity and rolling-out limit, and ultimately increase the strength of the soil.

The positive effect of polycarboxylate superplasticizers both the physical and mechanical properties of the cement stone, and on physical and mechanical properties of clay soils explains the increase in the strength and hardness soil-cements modified such additives.

Keywords: polycarboxylate superplasticizer, clay soil, plasticity index, optimum moisture content, maximum density, ultimate compressive strength.

Reference list

1. Bell F.G. Lime stabilization of clay minerals and soils // *Engineering Geology*, 1996, № 42. – P. 223-237.
2. Grim R.E. Clay mineralogy. – M.: Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 1959. – 452 p.
3. Shelikhov N.S., Rakhimov R.Z. The Building materials made of local carbonate resources. – M.: KGASU, 2015. – 324 p.
4. Rakhimov R.Z., P Rakhimova N.R., Stoyanov O.V. Clay pozzolans. Part 1. Overview // *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, № 1 (19). – P. 5-13.
5. Bulanov P.E., Vdovin E.A., Mavliev L.F. Influence of plasticizers on physical and mechanical properties of soil-cement for road purpose // *Izvestiya KGASU*, 2015, № 1 (31). – P. 160-164.
6. Bulanov P.E., Mavliev L.F., Vdovin E.A. The optimization of stone-sand mixture treated by portland cement in combination with plasticizer and water-repellent additive // *Izvestiya KGASU*, 2015, № 2 (32). – P. 300-305.
7. Kalashnikov V.I., Volodin V.M., Moroz M.N., Yerofeyev I.V., Petukhov A.V. Super- and giperplasticizers. Microsilicafumes. Concrete new generation of low specific consumption per unit of cement strength // *Molodoy uchenyy*, 2014, № 19. – P. 207-210.
8. Rebinder P.A. Physico-chemical mechanics, as a basis for fixing the soil in road construction and production of construction materials based on soil // *Trudy soveshchaniya po teoreticheskim osnovam tekhnicheskoy melioratsii gruntov*. – M.: MGU, 1961. – P. 4-12.
9. Mogilevich V.M., Shcherbakova R.P., Tyumentseva O.V. Road construction of soil-cement. – M.: Transport, 1972. – 215 p.
10. Rebinder P.A. Surface phenomena in disperse systems. Colloid chemistry. Selected works. – M.: Nauka, 1978. – 368 p.
11. Tombacz E., Szekeres M. Colloidal behavior of aqueous montmorillonite suspensions: the specific role of pH in the presence of indifferent electrolytes // *Appl. Clay Sci.*, 2004, № 27. – C. 75-94.

12. Jeknavorian A.A., Jardine L., Ou C.C., Koyata H., Folliard K.J. Interaction of superplasticizers with clay-bearing aggregates // Special publication ACI/7th CANMET conference on superplasticizers and other chemical admixtures. – Berlin (Germany), 2003. – P. 1293-1316.
13. Sakai E., Atarashi D., Daimon M. Interaction between superplasticizers and clay minerals // Special Publication ACI/6th CANMET Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures. – Xi'an (China), 2006. – P. 1560-1566.
14. Atarashi D., Sakai E., Obinata R., Daimon M. Interactions between superplasticizers and clay minerals // Cem. Sci. Concr Technol, № 58, 2004. – P. 387-392.
15. Atarashi D., Sakai E., Obinata R., Daimon M. Influence of clay minerals on fluidity of CaCO₃ suspension containing comb-type polymer // Cem. Sci. Concr. Technol, № 57, 2003. – P. 386-391.
16. Amarasinghe P.M., Katti K.S., Katti D.R. Nature of organic fluid-montmorillonity interactions: an FTIR spectroscopic study // Colloid and Interface Science, № 337, 2009. – P. 97-105.
17. Burchill S., Hall P.L., Harrison R., Hayes M.H.B., Langford J.I., Livingston W.R., Smedley R.J., Ross D.K., Tuck J.J. Smectite-polymer interactions in aqueous systems // Clay Minerals, № 18, 1983. – P. 373-397.
18. Ng S., Plank J. Interaction mechanisms between Na montmorillonite clay and MPEG-based polycarboxylate superplasticizers // Cement and Concrete Research, № 42, 2012. – P. 847-854.
19. Suter J.L., Coveney P.V. Computer simulation study of the materials properties of intercalated and exfoliated poly(ethylene) glycol clay nanocomposites // Soft mater, № 5 (11), 2009. – P. 2239-2251.
20. Lei L., Plank J. A study on the impact of different clay minerals on the dispersing force of conventional and modified vinyl ether based polycarboxylate superplasticizers // Cement and Concrete Research, № 6, 2014. – P. 1-10.
21. Ovcharenko F.D. Hydrophilicity clays and clay minerals. – Kiyev: Izdatel'stvo Akademii nauk USSR, 1961. – 292 p.
22. Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesensky E.A., Golodkovskaya G.A., Vasilchuk J.K., Ziangirov R.S. Science of soil improvement. – M.: MGU, 2005. – 1024 p.