

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

Строганов В.Ф. – доктор химических наук, профессор

E-mail: svf08@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Асадуллина А.Р. – заместитель начальника планово-экономического отдела

E-mail: alinaasadullina@yandex.ru

ГКУ «Главтатдортранс»

Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 18/75

Сафин Д.Р. – инженер производственно-технического отдела

E-mail: dinar-safin-95@mail.ru

ООО «Служба проектных решений»

Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Саид-Галеева, д. 6.

Влияние пластифицирующих добавок различной химической основы на физико-технические свойства глинистых грунтов, укрепленных портландцементом

Аннотация

Постановка задачи. Цель – исследовать влияние пластифицирующих добавок различной химической основы на физико-технические свойства глинистых грунтов, укрепленных портландцементом (цементогрунтов).

Результаты. Определен уровень физико-технических показателей укрепленной портландцементом полиминеральной (с содержанием реликтовых минералов более 85 %), каолиновой (с содержанием минерала каолинита до 95 %) и монтмориллонитовой (содержанием минерала монтмориллонита до 70 %) глины с добавками пластификаторов различной химической основы.

Выводы. Значимость для строительной отрасли заключается в том, что введение эфира поликарбоксилата в состав цементогрунтов в зависимости от вида глинистого грунта и расхода портландцемента обеспечило повышение прочности на сжатие до 94 %, прочности на растяжении при изгибе до 76 %, морозостойкости до 43 %.

Ключевые слова: предел прочности на сжатие, предел прочности на растяжение при изгибе, морозостойкость, глинистый грунт, каолинит, монтмориллонит, пластифицирующие добавки, цементогрунт.

Введение

При укреплении глинистых грунтов цементом в ряде случаев возникает необходимость повышения физико-технических свойств цементогрунта, используя добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ) (Безрук В.М. Укрепленные грунты (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве). М.: Транспорт, 1982. 231 с.).

В основу укрепления грунтов цементом совместно с модифицирующими добавками положен принцип направленного регулирования физико-химических свойств укрепляемого грунта для создания оптимальных условий формирования прочной, водоустойчивой и морозостойкой структуры цементогрунта (Могилевич В.М. Дорожные одежды из цементогрунта. М.: Транспорт, 1972. 215 с.).

Одними из наиболее известных, доступных и эффективных химических добавок для повышения эффективности цемента в цементных композитах, повышающих физико-технические свойства, являются пластифицирующие добавки, особенно на поликарбоксилатной основе [1, 2].

Ранее в работе [3] показано положительное действие поликарбоксилатного суперпластификатора на физико-технические свойства цементогрунтов.

Однако, недостаточно исследованным остается влияние суперпластификаторов различной химической основы на физико-технические свойства укрепленных портландцементом глинистых грунтов различного минерального состава.

Экспериментальная часть

При исследовании использованы три разновидности глинистых грунтов. Первый грунт был отобран с карьера Сахаровского месторождения Алексеевского района Республики Татарстан. Запасы данного грунта составляют 2,102 млн. м³ из 180,1 млн. м³ разведанного глинистого сырья Республики Татарстан [4, 5]. По минеральному составу грунт в соответствии с ГОСТ 9169-75 относится к полиминеральной глине (ПГ), а по ГОСТ 25100-2011 в соответствии с числом пластичности и содержанием песчаных частиц к суглинку легкому пылеватому. Содержание реликтовых минералов более 85 % (52 % кварца). Выбранный глинистый грунт удовлетворяет требованиям ГОСТ 23558-94 по числу пластичности, согласно которому для укрепления неорганическими вяжущими при строительстве оснований и покрытий автомобильных дорог не должно превышать 12.

Как известно, наиболее распространенными глинистыми минералами в глинах являются монтмориллонит и каолинит [6]. Глины, содержащие в себе данные минералы, тяжело поддаются укреплению. Поэтому, для выявления особенностей влияния добавок на данные минералы в качестве двух других разновидностей приняты глины, близкие к мономинеральным: каолинистая глина (КГ) с содержанием минерала каолинита до 95 % и монтмориллонитовая глина (МГ) с содержанием минерала монтмориллонита до 70 %.

В качестве вяжущего применялся портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н (ПЦ).

Для модификации ЦГ применены добавки, являющиеся представителями основных химических групп пластификаторов: сульфенированное меламинформальдегидное соединение (СМФ), сульфенированное нафталинформальдегидное соединение (СНФ), лигносульфонат технический (ЛСТ), поликарбоксилат (ПКС).

Ранее, в работе [7], установлен расход ПЦ, обеспечивающее наибольшую эффективность укрепления рассмотренных глинистых грунтов. Для полиминеральной глины, укрепленной портландцементом (ЦПГ), оптимальный расход цемента составляет 6-14 %, для каолинистой глины, укрепленной портландцементом (ЦКГ) – 10-26 %, для монтмориллонитовой глины, укрепленной портландцементом (ЦМГ) – 16-32 %. ПЦ вводился в глинистые грунты в указанных дозировках.

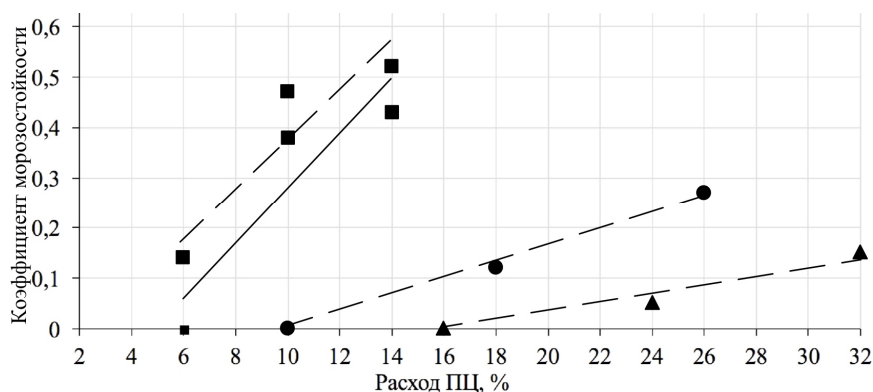


Рис. 1. Зависимость коэффициента морозостойкости образцов цементогрунтов (15 циклов замораживания-оттаивания) от расхода ПЦ: ■ – ПГ; ● – КГ; ▲ – МГ
— контрольные составы; - - - составы, модифицированные ПКС

Пластифицирующие добавки вводились в ЦПГ в дозировках 0,025, 0,05, 0,075, 0,100, 0,125, 0,150, 0,175, 0,200 %, в ЦКГ и ЦМГ – 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,25, 0,30, 0,35, 0,40 %. Вода добавлялась в цементогрунтовые смеси до достижения максимальной плотности. Результаты исследований представлены на рис. 1-2, табл. 1-3.

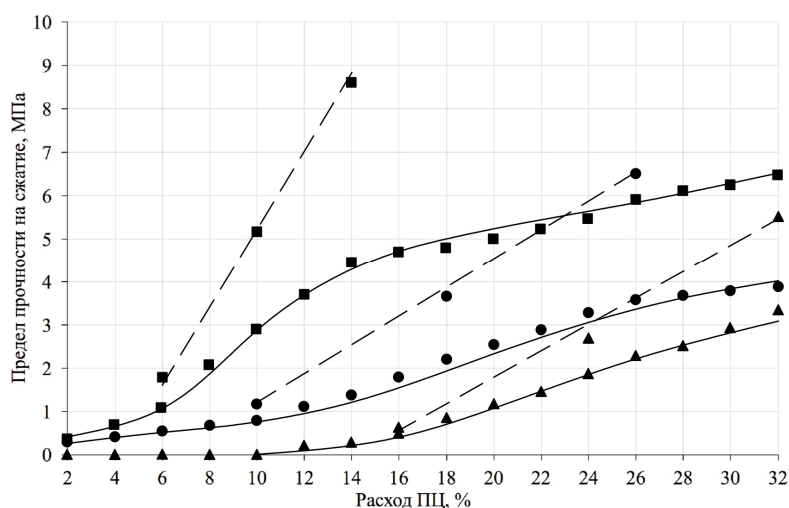


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии образцов цементогрунтов от расхода ПЦ: ■ – ПГ; ● – КГ; ▲ – МГ
 ——— контрольные составы; - - - - составы, модифицированные ПКС

Таблица 1

Влияние пластифицирующих добавок на показатели стандартного уплотнения и физико-технические свойства ЦПГ

Наименование добавки	Количество добавки, %	Показатели стандартного уплотнения		Физико-технические свойства ЦПГ		
		$W_{опт}, \%$	$\rho_{max}, \text{г/см}^3$	$R_{сж}, \text{МПа}$	$R_{изг}, \text{МПа}$	$K_{мор}$
1	2	3	4	6	7	8
При 6 % ПЦ от массы ПГ						
-	-	15,02	1,90	1,08	0,31	Разр.
СМФ	0,125	13,97	1,92	1,50	0,38	0,14
СНФ	0,125	14,33	1,92	1,52	0,39	0,12
ЛСТ	0,100	13,91	1,92	1,35	0,35	0,09
ПКС	0,100	13,76	1,92	1,78	0,43	0,14
При 10 % ПЦ от массы ПГ						
-	-	13,81	1,92	2,90	0,56	0,38
СМФ	0,150	12,67	1,95	4,23	0,78	0,46
СНФ	0,150	12,62	1,95	4,32	0,79	0,44
ЛСТ	0,100	11,99	1,94	3,68	0,69	0,40
ПКС	0,100	11,63	1,95	5,16	0,92	0,47
При 14 % ПЦ от массы ПГ						
-	-	12,29	1,95	4,44	0,81	0,43
СМФ	0,150	10,83	1,99	6,93	1,16	0,50
СНФ	0,150	10,73	1,99	7,01	1,18	0,49
ЛСТ	0,125	10,48	1,99	5,77	1,01	0,47
ПКС	0,125	10,3	2,00	8,61	1,47	0,52

Анализ табл. 1-3 и рис. 1-2 показал, что наибольшее повышение прочности и морозостойкости у образцов цементогрунтов, а также увеличение максимальной плотности и снижение оптимальной влажности цементогрунтовых смесей наблюдалось с добавкой ПКС при укреплении ПЦ всех исследуемых глинистых грунтов. Это обстоятельство подтверждается многочисленными исследованиями в области изучения влияния данного вида пластифицирующей добавки на цементные системы [1]. Однако, при этом морозостойкость глинистых грунтов, укрепленных портландцементом, не достигает требуемых значений, поэтому требуется комплексная модификация.

Таблица 2

**Влияние пластифицирующих добавок
на показатели стандартного уплотнения и физико-технические свойства ЦКГ**

Наименование добавки	Количество добавки, %	Показатели стандартного уплотнения		Физико-технические свойства ЦКГ		
		W _{опт} , %	ρ _{max} , г/см ³	R _{сж} , МПа	R _{изг} , МПа	K _{мор}
1	2	3	4	6	7	8
При 10 % ПЦ от массы КГ						
-	-	24,04	1,55	0,79	0,17	Разр.
СМФ	0,20	23,56	1,56	0,96	0,19	Разр.
СНФ	0,20	23,06	1,56	0,98	0,19	Разр.
ЛСТ	0,20	22,63	1,59	0,94	0,18	Разр.
ПКС	0,15	23,02	1,64	1,16	0,20	Разр.
При 18 % ПЦ от массы КГ						
-	-	22,11	1,6	2,21	0,54	Разр.
СМФ	0,20	21,32	1,63	2,89	0,68	0,09
СНФ	0,20	20,97	1,64	2,99	0,68	Разр.
ЛСТ	0,20	20,81	1,68	2,67	0,64	Разр.
ПКС	0,20	20,41	1,71	3,66	0,71	0,12
При 26 % ПЦ от массы КГ						
-	-	20,22	1,66	3,59	0,9	Разр.
СМФ	0,20	19,08	1,69	5,09	1,22	0,25
СНФ	0,20	19,01	1,70	5,17	1,23	0,23
ЛСТ	0,20	18,57	1,72	4,57	1,15	0,22
ПКС	0,20	18,32	1,74	6,50	1,51	0,27

Таблица 3

**Влияние пластифицирующих добавок
на показатели стандартного уплотнения и физико-технические свойства ЦМГ**

Наименование добавки	Количество добавки, %	Показатели стандартного уплотнения		Физико-технические свойства ЦМГ		
		W _{опт} , %	ρ _{max} , г/см ³	R _{сж} , МПа	R _{изг} , МПа	K _{мор}
1	2	3	4	6	7	8
При 16 % ПЦ от массы МГ						
-	-	24,11	1,56	0,49	0,14	Разр.
СМФ	0,25	23,13	1,58	0,57	0,15	Разр.
СНФ	0,25	23,12	1,58	0,58	0,15	Разр.
ЛСТ	0,25	22,72	1,61	0,55	0,14	Разр.
ПКС	0,20	22,01	1,61	0,62	0,16	Разр.
При 24 % ПЦ от массы МГ						
-	-	21,88	1,59	1,87	0,32	Разр.
СМФ	0,25	20,98	1,63	2,35	0,37	0,04
СНФ	0,25	20,61	1,64	2,39	0,37	Разр.
ЛСТ	0,25	20,23	1,66	2,23	0,36	Разр.
ПКС	0,25	19,21	1,69	2,67	0,40	0,05
При 32 % ПЦ от массы МГ						
-	-	19,92	1,64	3,33	0,60	Разр.
СМФ	0,25	19,09	1,69	4,36	0,73	0,13
СНФ	0,25	19,10	1,70	4,49	0,74	0,09
ЛСТ	0,25	18,49	1,72	4,12	0,71	Разр.
ПКС	0,25	16,74	1,75	5,5	0,79	0,15

При сравнении добавок СМФ, СНФ и ЛСТ в ЦПГ, ЦКГ и ЦМГ установлено, что наибольшее увеличение максимальной плотности и снижение оптимальной влажности наблюдается для образцов с добавкой ЛСТ, а наибольшее повышение предела прочности на сжатие и предела прочности на растяжение при изгибе – у образцов с добавкой СНФ, и морозостойкости – у образцов с добавкой СМФ.

Обсуждение результатов

В исследованиях [8-12] показано, что ПАВ могут адсорбироваться на глинистых частицах, а суперпластификаторы на основе сульфомеламинформальдегидов и сульфонафталинформальдегидов в меньшей степени склонены взаимодействию с глинистыми минералами, чем эфиры поликарбоксилата [9-12], что отражается на физико-технических свойствах укрепленных цементом грунтов.

Известно, что поликарбоксилатные суперпластификаторы в основном состоят из двух основных элементов: основной цепи (метакриловая кислота, малеиновая кислота и т.д.) и боковой цепи (сложные спирты в виде полиэтиленгликоля и т.д.). Теоретически существует 2 основных вида взаимодействий глинистых минералов с эфирами поликарбоксилатов [8].

– Электростатическое взаимодействие между положительно заряженными участками на сколах глинистых минералов и отрицательно заряженными группами пластификатора. Следует отметить, что с растворением цемента в глине происходит повышение значений рН, а гидратированные группы –ОН глинистых минералов депротонируются и меняются на отрицательный заряд [13, 14].

– Интеркаляция полигликолей между алюмосиликатными слоями, происходящих с помощью Н-связей, на частично поляризованные атомы кислорода, присутствующие в полиэтиленоксиде и молекуле воды, на частично закрепленные силанольные группы, присутствующие на алюмосиликатных слоях глинистых минералов [15, 16]. Боковые группы полиэтилена, присутствующие в эфире поликарбоксилата, имеют сходный химический состав с полигликолями, а полигликоли, особенно с высокой молекулярной массой, как известно, легко адсорбируются на глинистых минералах [11].

Заключение

Таким образом, установлено, что наиболее эффективной пластифицирующей добавкой в повышении физико-технических свойств глинистых грунтов, укрепленных портландцементом, является эфир поликарбоксилат, введение которого обеспечивает увеличение: прочности на сжатие в полиминеральной глине – на 93,9 %, в каолиновой глине – на 81,9 %, в монтмориллонитовой глине – на 65,2 %; прочности на растяжении при изгибе – на 81,5 %, 67,8 % и 31,7 % соответственно; морозостойкости – на 34,9 %, 30,0 % и 22,0 %. Установлен уровень оптимальной дозировки эфира поликарбоксилата в укрепленных портландцементом глинистых грунтах, при которых достигается максимальная прочность, в зависимости от содержания вяжущего, составили: для полиминеральной глины – 0,1-0,125 %, для каолиновой и монтмориллонитовой глин – 0,15-0,25 % от массы глинистых грунтов.

Выявлено, что наиболее эффективной пластифицирующей добавкой для повышения прочности и морозостойкости глинистых грунтов, укрепленных ПЩ, является ПКС. Однако, при этом морозостойкость глинистых грунтов, укрепленных портландцементом, не достигает требуемого уровня значений, поэтому и требуется применение комплексной модификации.

Список библиографических ссылок

1. Plank J., Sakai E., Miao C. W., Yu C., Hong J. X. Chemical admixtures – chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability // *Cement and concrete research*. 2015. Vol. 78. P. 81–99.
2. Камалова З. А., Ермилова Е. Ю., Рахимов Р. З., Стоянов О. В. Влияние ускорителей на кинетику твердения композиционного цементного камня с добавкой супер- и гиперпластификатора // *Вестник казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 15. С. 40–43.
3. 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.
4. Валитов Н. В., Зорина С. О., Афанасьева Н. И., Антонов В. А., Сабиров А. А., Чайкин В. Г., Месхи А. М., Глебашев С. Г., Закирова Ф. А., Лужбина И. В.

- Минералогия верхнепермского и мезокайнозойского комплексов Республики Татарстан. Казань : КГУ, 2007. 456 с.
5. Васянов Г. П., Горбачев Б. Ф., Красникова Е. В., Садыков Р. К., Кабиров Р. Р. Глинистое легкоплавкое керамическое сырье Республики Татарстан (состояние сырьевой базы и опыт применения светложгущихся полиминеральных глин) // Георесурсы. 2015. № 4 (63). С. 44–49.
 6. Минке Г. Глинобетон и его применение. М. : Издательство янтарный сказ, 2004. 232 с.
 7. Буланов П. Е., Гимазов А. Р., Замалиев И. Р., Вдовин Е. А., Мавлиев Л. В. Влияние содержания портландцемента на свойства укрепленных глинистых грунтов различного минерального // Вестник казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 9. С. 24–27.
 8. Jaernstrom L., Stenius P. Adsorption of polyacrylate and carboxy methyl cellulose on kaolinite: salt effects and competitive adsorption // Colloids surf. 1990. 50. P. 47–73.
 9. Jeknavorian A. A., Jardine L., Ou C. C., Koyata H., Folli K. J. Interaction of superplasticizers with clay-bearing aggregates: special publication AG 7th CANMET conference on superplasticizers and other chemical admixtures / Berlin, Germany, 2003. P. 1293–1316.
 10. Sakai E., Atarashi D., Daimon M. Interaction between superplasticizers and clay minerals: special publication 1/6th CANMET Conference on superplasticizers and other chemical admixtures / China, 2006. P. 1560–1566.
 11. Atarashi D., Sakai E., Obinata R., Daimon M. Interactions between superplasticizers and clay minerals // Cem. sci. concr technol. 2004. № 58. P. 387–392.
 12. 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. 2003. № 57. P. 386–391.
 13. 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. P. 75–94.
 14. Ng S., Plank J. Interaction mechanisms between na montmorillonite clay and MPEG-based polycarboxylate superplasticizers // Cement and concrete research. 2012. № 42. P. 847–854.
 15. Amarasinghe P. M., Katti K. S., Katti D. R. Nature of organic fluid-montmorillonite interactions: an FTIR spectroscopic // J. colloid interface sci. 2009. № 337. P. 97–105.
 16. 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 // Clay minerals. 1983. № 18. P. 373–397.

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

Stroganov V.F. – doctor of chemical sciences, professor

E-mail: svf08@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Asadullina A.R. – deputy head of planning and economic department

E-mail: alinaasadullina@yandex.ru

SPI «Glavtadortrans»

The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevskiy st., 18/75.

Safin D.R. – engineer of production and technical department

E-mail: dinar-safin-95@mail.ru

LTD «Sluzhba proyektnykh resheniy»

The organization address: 420111, Russia, Kazan, Said-Galeeva st., 6.

Effect of water-reducing agents with various chemical bases on the physical and technical properties of clay soils reinforced by Portland cement

Abstract

Problem statement. The aim of the article is to investigate the effect of water-reducing agents with various chemical bases on the physical and technical properties of clay soils reinforced by Portland cement (soil-cement).

Results. The level of the main physical and technical properties of polymineral (containing relict minerals more than 85 %), kaolinic (with the content of kaolinite up to 95 %) and montmorillonite (with the montmorillonite mineral content up to 70 %) clay reinforced by Portland cement with additives of plasticizers of various chemical bases was determined.

Conclusions. The significance for the construction industry is that the introduction of polycarboxylate ester into the composition, depending on the type of clay soil and the consumption of Portland cement, led to an increase in ultimate compressive strength of up to 94 %, bending ultimate tensile strength to 76 %, and freeze-thaw resistance to 43 %.

Keywords: ultimate compressive strength, ultimate tensile strength, freeze-thaw resistance, clay soil, kaolinite, montmorillonite, water-reducing agent, soil-cement.

References

1. Plank J., Sakai E., Miao C. W., Yu C., Hong J. X. Chemical admixtures – chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability // *Cement and concrete research*. 2015. Vol. 78. P. 81–99.
2. Kamalova Z. A., Yermilova Ye. Yu., Rakhimov R. Z., Stoyanov O. V. Influence of accelerators on the kinetics of hardening of composite cement stone with the addition of super- and hyperplasticizer // *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. Vol. 17. № 15. P. 40–43.
3. Bulanov P. Ye., Vdovin Ye. A., Mavliyev L. F. Influence of plasticizers on physical and mechanical properties of soil-cement for road purpose // *Izvestiya KGASU*. 2015. № 1 (31). P. 160–164.
4. Valitov N. V., Zorina S. O., Afanas'yeva N. I., Antonov V. A., Sabirov A. A., Chaykin V. G., Meskhi A. M., Glebashev S. G., Zakirova F. A., Luzhbina I. V. Minerageny of the Upper Permian and Mesozoanozoic complexes of the Republic of Tatarstan Kazan : KGU, 2007. 456 p.
5. Vasyanov G. P., Gorbachev B. F., Krasnikova E. V., Sadykov R. K., Kabirov R. R. Clay low-melting ceramic raw materials of the Republic of Tatarstan (the state of the raw material base and the experience of using light-cladding polymineral clays) // *Georesursy*. 2015. № 4 (63). P. 44–49.
6. Minke G. Clay concrete and its application. M.: Izdatel'stvo yantarnyy skaz, 2004. 232 p.
7. Bulanov P. E., Gimazov A. R., Zamaliev I. R., Vdovin E. A., Mavliyev L. F. Effect of Portland Cement Content on Properties strengthened clay soils of various mineralogical composition // *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2017. Vol. 20. № 9. P. 24–27.
8. Jaernstrom L., Stenius P. Adsorption of polyacrylate and carboxy methyl cellulose on kaolinite: salt effects and competitive adsorption // *Colloids surf*. 1990. 50. P. 47–73.
9. Jeknavorian A. A., Jardine L., Ou C. C., Koyata H., Folli K. J. Interaction of superplasticizers with clay-bearing aggregates: special publication AG 7th CANMET conference on superplasticizers and other chemical admixtures / Berlin, Germany, 2003. P. 1293–1316.
10. Sakai E., Atarashi D., Daimon M. Interaction between superplasticizers and clay minerals: special publication 1/6th CANMET Conference on superplasticizers and other chemical admixtures / China, 2006. P. 1560–1566.
11. Atarashi D., Sakai E., Obinata R., Daimon M. Interactions between superplasticizers and clay minerals // *Cem. sci. concr technol*. 2004. № 58. P. 387–392.

12. Atarashi D., Sakai E., Obinata R., Daimon M. Influence of clay minerals on fluidity of CaSO_3 suspension containing comb-type polymer // *Cem. sci. concr. technol.* 2003. № 57. P. 386–391.
13. 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. P. 75–94.
14. Ng S., Plank J. Interaction mechanisms between na montmorillonite clay and MPEG-based polycarboxylate superplasticizers // *Cement and concrete research.* 2012. № 42. P. 847–854.
15. Amarasinghe P. M., Katti K. S., Katti D. R. Nature of organic fluid-montmorillonite interactions: an FTIR spectroscopic // *J. colloid interface sci.* 2009. № 337. P. 97–105.
16. 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 // *Clay minerals.* 1983. № 18. P. 373–397.