



УДК 691:624.138

**Буланов П.Е.** – ассистент

E-mail: [f\\_lays@mail.ru](mailto:f_lays@mail.ru)

**Вдовин Е.А.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [vdovin007@mail.ru](mailto:vdovin007@mail.ru)

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

E-mail: [lenarmavliev@yandex.ru](mailto:lenarmavliev@yandex.ru)

**Строганов В.Ф.** – доктор химических наук, профессор

E-mail: [svf08@mail.ru](mailto:svf08@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

**Оптимизация состава и исследование влияния  
комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавки  
на физико-технические свойства, укрепленных портландцементом,  
глинистых грунтов**

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Оптимизировать состав и исследовать влияние комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавки на основе эфира поликарбоксилата и октилтриэтоксисилана на физико-технические свойства укрепленной портландцементом полиминеральной, каолинитовой и монтмориллонитовой глины.

*Результаты.* Исследованы основные физико-технические свойства укрепленных портландцементом глинистых грунтов, модифицированных комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавкой. Построена графическая интерпретация результатов математической модели, показывающей влияние компонентов комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавки на укрепленную портландцементом полиминеральную (с содержанием реликтовых минералов более 85 %), каолиновую (с содержанием минерала каолинита до 95 %) и монтмориллонитовую (содержанием минерала монтмориллонита до 70 %) глину.

*Выводы.* Значимость для строительной отрасли заключается в том, что введение комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавки обеспечивает повышение прочности на сжатие укрепленной цементом полиминеральной глины на 102 %, каолинитовой глины – на 85 %, монтмориллонитовой глины – на 55 %, прочности на растяжении при изгибе – на 88 %, 71 % и 28 %, морозостойкости – на 114 %, 50 % и 52 % соответственно.

**Ключевые слова:** предел прочности на сжатие, предел прочности на растяжение при изгибе, морозостойкость, цементогрунт, полиминеральная глина, каолинистая глина, монтмориллонитовая глина.

**Введение**

История развития использования вяжущих для улучшения эксплуатационных свойств грунта в строительстве уходит корнями в далекое прошлое. Укрепленные грунтовые дороги существовали в Древней Месопотамии, Египте, Греции и Риме (McDowell M. T. Stabilization of soils with lime, lime-fly ash and other lime reactive materials // Highw res board. 1959. № 231. P. 60–66.).

Глинистые породы являются одними из наиболее широко распространенных видов грунтов. Из общего объема осадочных пород, составляющих 340 млн. км<sup>3</sup> (5 % литосферы), на их долю приходится 270 млн. км<sup>3</sup>. К ним относятся глины, суглинки, лессы, аргиллиты и др. (Овчаренко Ф. Д. Гидрофильность глин и глинистых минералов. Киев: Издательство академии наук Украинской ССР, 1961. 275 с., Трофимов В. Т., Королев В. А., Вознесенский Е. А., Голодковская Г. А., Васильчук Ю. К., Зиангиров Р. А. Грунтоведение. М.: Издательство «Наука», 2005. 1024 с.).

Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых показывают, что одним из путей совершенствования покрытий и оснований автомобильных дорог

является применение местных укрепленных грунтов. Основной задачей применения различных методов укрепления грунтов является более широкое использование местных грунтов как наиболее дешевого и доступного сырья, способного заменить привозные прочные каменные материалы, удорожающие стоимость строительства автомобильных дорог (Безрук В. М. Укрепленные грунты (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве). М.: Транспорт, 1982. 231 с.).

Широкое распространение в дорожном строительстве получили известь и цемент. Существенный вклад в развитие грунтов укрепленных неорганическими вяжущими, в частности цементом и известью, в строительстве внесли: В. М. Безрук, В. М. Могилевич, Ю. М. Васильев, Л. В. Гончарова, О. В. Тюменцева, Г. А. Левчановский, Л. А. Марков, В. М. Кнатько, В. А. Кельман, В. В. Охотин, М. М. Филатов, С. W. Correns, C. S. Dunn, J. Hashimoto, J. K. Mitchell, A. Herzog, G. H. Hilt, D. T. Davidson, J. G. Laguros, T. W. Lambe, R. C. Mainfort и др.

Известно, что наиболее эффективным способом укрепления явилось использование цемента. Продукты его гидратации уменьшают количество макропор за счет заполнения пространства между грунтовыми агрегатами, что в последующем ведет к уменьшению проницаемости материала. Помимо этого, использование грунтов, укрепленных цементом (цементогрунтов) в конструкциях дорожных одежд, положительно влияет на водно-тепловой режим земляного полотна и снижает колеобразование (Могилевич В. М. Дорожные одежды из цементогрунта. М.: Транспорт, 1972. 215 с.).

Ранее установлено, что для повышения прочности цементогрунтов целесообразно применение поликарбоксилатных суперпластификаторов [1], а для увеличения морозостойкости – кремнийорганического гидрофобизатора октилтриэтоксисилан [2]. Однако не определена возможность комплексного применения данных видов добавок при модификации цементогрунтов различного минерального состава. В этой связи целью данной работы является получение оптимального состава комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавки (КППД) на основе эфира поликарбоксилата и октилтриэтоксисилана и исследование ее влияния на физико-технические свойства укрепленных портландцементом глинистых грунтов.

### **Экспериментальная часть**

Для приготовления цементогрунтовых образцов и проведения исследований использовались 3 глинистые разновидности грунтов.

Первый грунт отобран с карьера Сахаровского месторождения Алексеевского района Республики Татарстан. Запасы данного грунта равны 2,102 млн. м<sup>3</sup> из 180,1 млн. м<sup>3</sup> разведанного глинистого сырья Республики Татарстан [3, 4]. По минеральному составу грунт в соответствии с ГОСТ 9169-75 относится к полиминеральной глине (ПГ), а по ГОСТ 25100-2011 к суглинку легкому пылеватому. Содержание реликтовых минералов более 85 % (52,49 % кварца).

Как известно, наиболее распространенными глинистыми минералами в грунтах являются монтмориллонит и каолинит. Глины, содержащие в себе данные минералы, тяжело поддаются укреплению. Поэтому, для выявления особенностей и процессов, происходящих при модификации глинистых грунтов, укрепленных портландцементом, исследованы модельные глины, близкие к мономинеральным.

Второй глинистый грунт произведен в Самарской области, ООО НПП «Промышленные минералы». В соответствии с ГОСТ 9169-75 по минеральному составу относится к каолиновой глине (КГ) с содержанием минерала каолинита до 95 %.

Третий глинистый грунт отобран из Биклянского карьера Тукаевского района Республики Татарстан. В соответствии с ГОСТ 9169-75 по минеральному составу относится к монтмориллонитовой глине (МГ) с содержанием минерала монтмориллонита до 70 %.

Для укрепления глинистых грунтов применялся портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ЗАО «Ульяновскцемент». Ранее установлены расходы ПЦ, приводящих к наибольшей эффективности укрепления данных глинистых грунтов [10]: для полиминеральной глины, укрепленной портландцементом (ЦПГ) – 6-14 %, для каолиновой глины, укрепленной портландцементом (ЦКГ) – 10-26 %, для монтмориллонитовой глины, укрепленной

портландцементом (ЦМГ) – 16-32 %. ПЩ вводился в глинистые грунты в указанных дозировках.

В качестве модификатора цементогрунтов применены поликарбоксилатный суперпластификатор (ПКС) Pantarhit PC 160 Plv и кремнийорганический гидрофобизатор октилтриэтоксисилан (ОТЭС). Дозировка ПКС для ПГ 0,05-0,15 %, для КГ и МГ – 0,1-0,3 %. Дозировка ОТЭС для ПГ – 0,015-0,045 %, для КГ и МГ – 0,1-0,2 %.

Определение предела прочности на сжатие ( $R_{сж}$ ) цементогрунтов производилось на образцах размером 10x10x10 см, предела прочности на растяжение при изгибе ( $R_{изг}$ ) – 10x10x40 см в водонасыщенном в течение 2 суток состоянии по ГОСТ 10180-90. Морозостойкость изучалась согласно ГОСТ 10060.3-91 на образцах-кубах с ребром 10 см после 28 суток нормального твердения. Время замораживания составляло не менее 2,5 ч при температуре минус  $(18 \pm 2)$  °С, оттаивания  $2 \pm 0,5$  ч в воде при температуре  $(18 \pm 2)$  °С. Коэффициент морозостойкости ( $K_{мор}$ ) определяли, как отношение прочности образца после испытания на многократное замораживание и оттаивание к прочности образца до испытания. Коэффициент морозостойкости находили после проведения 15 циклов замораживания-оттаивания, что соответствует требованиям ГОСТ 23558-94 для покрытий дорожных одежд переходного типа районов со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца до 15 °С.

Учитывая, что зависимость свойств строительных материалов от состава описываются уравнениями не выше второго порядка, для проведения экспериментальных исследований выбрано ротатабельное планирование второго порядка. Данный метод характеризуется хорошими характеристиками: ортогональность и композиционность. В основе выбраного плана реализован полнофакторный эксперимент: при трех факторах проведено 20 опытов: 8 опытов в вершинах куба, 6 опытов в звездных точках с плечом 1,682, 6 опытов в центре куба.

В качестве исходных независимых переменных определены следующие факторы: содержание ПЩ ( $X_1$ ), содержание ПКС ( $X_2$ ) и содержание ОТЭС ( $X_3$ ).

Обработка результатов экспериментов, проведенных в исследованиях с матрицей планирования эксперимента позволила получить графическую интерпретацию результатов математической модели, показывающей влияние компонентов комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавки на физико-технические свойства укрепленных портландцементом глинистых грунтов.

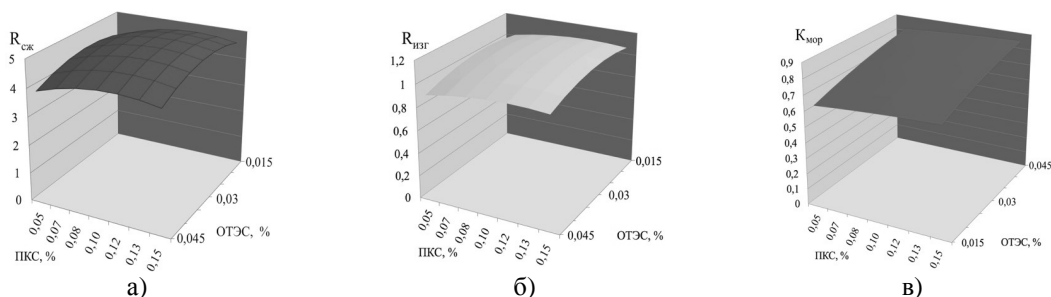


Рис. 1. Влияние состава КГПД на физико-технические свойства ЦПГ при расходе цемента 10 % от массы ПГ: а)  $R_{сж}$ ; б)  $R_{изг}$ ; в)  $K_{мор}^{15}$

Предел прочности на сжатие ЦПГ, модифицированной КГПД в сравнении с контрольным составом ЦПГ при 6 % ПЩ увеличился на 85,2 %, при 10 % – на 72,4 %, при 14 % – на 102,3 %. Предел прочности на растяжение при изгибе повысился при 6 % ПЩ на 77,4 %, при 10 % – на 98,2 %, при 14 % – на 88,9 %. При этом коэффициент морозостойкости после 15 циклов переменного замораживания-оттаивания увеличился на 65 %, 113,2 % и 114,0 % соответственно.

Предел прочности на сжатие ЦКГ, модифицированной КГПД, по сравнению с контрольным составом ЦКГ при 10 % ПЩ увеличился на 121,5 %, при 18 % – на 83,7 %, при 26 % – на 85,5 %. При этом предел прочности на растяжение при изгибе повысился

на 64,7 %, 42,6 % и 71,1 % соответственно. Коэффициент морозостойкости увеличился при 10 % ПЦ на 33 %, при 18 % – на 42 %, при 26 % – на 50 %.

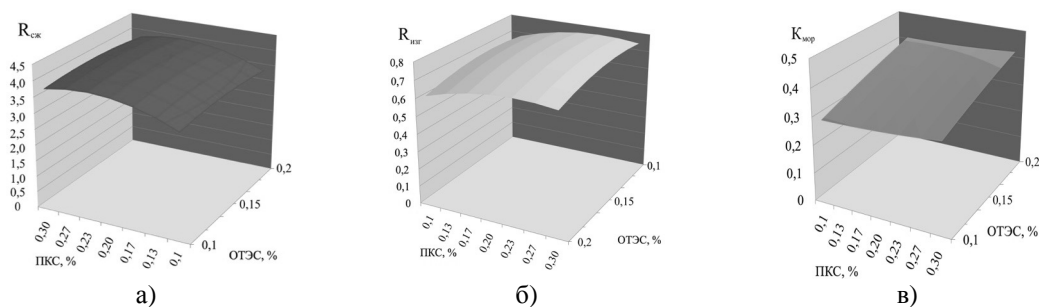


Рис. 2. Влияние состава КГПД на физико-технические свойства ЦКГ при расходе цемента 18 % от массы КГ: а)  $R_{сж}$ ; б)  $R_{изг}$ ; в)  $K_{мор}^{15}$

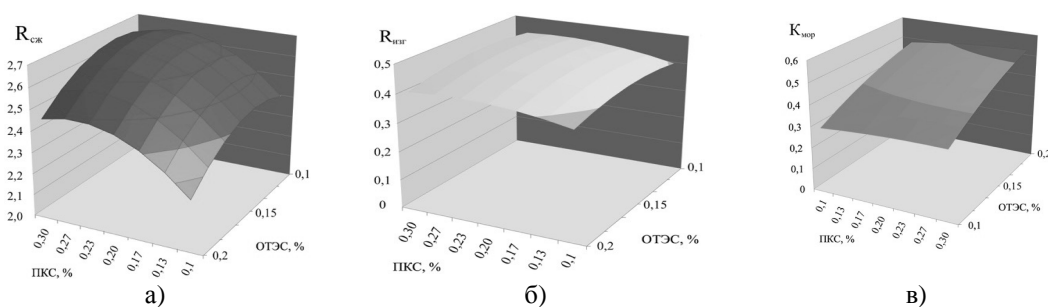


Рис. 3. Влияние состава КГПД на физико-технические свойства ЦМГ при расходе цемента 24 % от массы МГ: а)  $R_{сж}$ ; б)  $R_{изг}$ ; в)  $K_{мор}^{15}$

Таблица 1

**Состав и физико-технические свойства модифицированных цементогрунтов**

Наименование цементогрунта	Расход ПЦ, %	Количество ПКС, %	Количество ОТЭС, %	$R_{сж}$ , МПа	$R_{изг}$ , МПа	$K_{мор}$
ЦПГ	6	-	-	1,08	0,31	Разр.
		0,10	0,03	2,00	0,54	0,54
	10	-	-	2,90	0,56	0,38
		0,11	0,03	5,00	1,11	0,77
	14	-	-	4,44	0,81	0,43
		0,12	0,03	8,98	1,53	0,88
ЦКГ	10	-	-	0,79	0,17	Разр.
		0,22	0,15	1,75	0,28	0,27
	18	-	-	2,21	0,54	Разр.
		0,24	0,14	4,06	0,77	0,36
	26	-	-	3,59	0,90	Разр.
		0,25	0,14	6,66	1,40	0,45
ЦМГ	16	-	-	0,49	0,14	Разр.
		0,21	0,14	0,89	0,20	0,22
	24	-	-	1,87	0,32	Разр.
		0,25	0,13	2,69	0,46	0,33
	32	-	-	3,33	0,60	Разр.
		0,30	0,12	5,19	0,77	0,37

Предел прочности на сжатие ЦМГ, модифицированной КГПД, по сравнению с контрольным составом ЦМГ при 16 % ПЦ увеличился на 81,63 %, при 24 % – на 43,85 %, при 32 % – на 55,86 %. Предел прочности на растяжение при изгибе повысился при 16 % ПЦ на 42,86 %, при 24 % – на 43,75 %, при 32 % – на 28,33 %. Рост коэффициента морозостойкости при 16 % ПЦ составил 28 %, при 24 % – 43 %, при 32 % – 52 %.

В табл. 1 представлены составы и результаты испытаний цементогрунтов ЦПГ, ЦКГ и ЦМГ с различными расходами ПЦ, ПКС и ОТЭС.

Таблица 2

**Оптимальные расходы ПЦ и дозировки ПКС и ОТЭС для ЦПГ**

№ состава	Расход ПЦ, %	Кол-во ПКС, %	Кол-во ОТЭС, %	Марка по прочности	Марка по морозостойкости	Область применения в слоях и типах дорожных одежд
1	7,7	0,15	0,05	M20	F15	Основания и дополнительные слои оснований в переходных типах
2	9,0	0,15	0,03	M40	F15	Покрытия со слоем износа в переходных типах и основания в облегченных типах
3	11,2	0,12	0,03	M60	F15	
4	13,5	0,13	0,02	M75	F15, F25	

В табл. 2 представлены оптимальные расходы вяжущего и количество модифицирующих добавок при получении ЦПГ с требуемой прочностью и морозостойкостью в соответствии с областью применения по ГОСТ 23558-94.

**Обсуждение результатов**

Полученные результаты позволили нам предположить, что повышение прочности укрепленных портландцементом глинистых грунтов происходит за счет пептизации цементных флокул с появлением большего количества новообразований из-за высвобождения иммобилизованной воды, снижения коэффициента внутреннего трения, увеличения электростатического отталкивания частиц вследствие значительного изменения их электрокинетического потенциала [5-7], а также в результате адсорбции и хемосорбции компонентов комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавки на поверхности алюмосиликатных слоев глинистых минералов. Адсорбция, в свою очередь, очевидно приводит к уменьшению оптимальной влажности смеси с увеличением плотности, а хемосорбция – к образованию органоминеральных связей аналогично процессам отмеченным в публикациях [8-18]. Увеличение морозостойкости укрепленных грунтов, достигается за счет гидрофобизации стенок пор и капилляров кремнийорганическим соединением и формирования более плотной и однородной структуры [2].

**Заключение**

Таким образом установлено, что введение комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавки обеспечивает повышение прочности на сжатие укрепленной цементом полиминеральной глины на 102,3 %, каолиновой глины – на 85,5 %, монтмориллонитовой глины – на 55,9 %, прочности на растяжении при изгибе – на 88,9 %, 71,1 % и 28,3 %, морозостойкости – на 114,0 %, 50,0 % и 52,0 % соответственно.

Определены зависимости влияния расхода портландцемента, состава и дозировки комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавки на основе эфира поликарбоксилата и октилтриэтоксисилана на физико-технические свойства полиминеральной, каолиновой и монтмориллонитовой глин. Оптимизирован состав укрепленной цементом полиминеральной глины, модифицированной комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавкой с учетом области применения в дорожной одежде. Получены материалы с маркой по прочности M20, M40, M60, M75 и морозостойкости F15 и F25 для использования в конструкциях дорожных одежд во II и III дорожно-климатической зоне Российской Федерации.

## Список библиографических ссылок

1. 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.
2. Mavliev L., Bulanov P., Vdovin E., Zaharov V., Gimazov A. Road soil cement with complex additives based on organosilicon compounds and electrolytes // ZKG: ZEMENT-KALK-GIPS INTERNATIONAL. 2016. Vol. 69. № 9. P. 49–54.
3. 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.
4. 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 светложущихся полиминеральных глин) // Георесурсы. 2015. № 4 (63). С. 44–49.
5. 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 технологического университета. 2017. Т. 20. № 9. С. 24–27.
6. Фаликман В. Р. Поликарбоксилатные гиперпластификаторы: вчера, сегодня, завтра // Популярное бетоноведение. 2009. № 2 (28). С. 86–90.
7. 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.
8. Koizumi K., Umemura Y., Tsuyuki N. Effects of chemical admixtures on the silicate structure of hydrated portland cement // Proceedings of the 12<sup>th</sup> international congress on the chemistry of cement. montreal. 2007. P. 64–71.
9. 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.
10. Jeknavorian A. A., Jardine L., Ou C. C., Koyata H., Folli K. J. Interaction of superplasticizers with clay-bearing aggregates: special publication AG 7<sup>th</sup> CANMET conference on superplasticizers and other chemical admixtures / Berlin, Germany, 2003. P. 1293–1316.
11. Sakai E., Atarashi D., Daimon M. Interaction between superplasticizers and clay minerals: special publication 1/6<sup>th</sup> CANMET conference on superplasticizers and other chemical admixtures / China, 2006. P. 1560–1566.
12. Atarashi D., Sakai E., Obinata R., Daimon M. Interactions between superplasticizers and clay minerals // Cem. sci. concr technol. 2004. № 58. P. 387–392.
13. Atarashi D., Sakai E., Obinata R., Daimon M. Influence of clay minerals on fluidity of  $\text{CaSO}_3$  suspension containing comb-type polymer // Cem. sci. concr. technol. 2003. № 57. P. 386–391.
14. 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.
15. 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.
16. Suter J. L., Coveney P. V. Computer simulation study of the materials properties of intercalated and exfoliated poly(ethylene)glycol clay nanocomposites // Soft mater. 2009. № 11. P. 2239–2251.
17. 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. 2014. № 60. P. 1–10.
18. Zhang L., Lu Q., Xu Zh., Liu Q., Zeng H. Effect of polycarboxylate ether comb-type polymer on viscosity and interfacial properties of kaolinite clay suspensions // Journal of colloid and interface science. 2012. № 378. P. 222–231.

**Bulanov P.E.** – assistant

E-mail: [f\\_lays@mail.ru](mailto:f_lays@mail.ru)

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

E-mail: [vdovin007@mail.ru](mailto:vdovin007@mail.ru)

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

E-mail: [lenarmavliev@yandex.ru](mailto:lenarmavliev@yandex.ru)

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

E-mail: [svf08@mail.ru](mailto:svf08@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### **Optimization of composition and investigation of the effect of complex hydrophobic-plasticizing additive on physico-technical properties, reinforced with Portland cement, clay soils**

#### **Abstract**

*Problem statement.* Optimize the composition of the complex hydrophobic-plasticizing additive based on polycarboxylate and octyltriethoxysilane ether and investigate its effect on the physico-technical properties of polymineral, kaolinite and montmorillonite clay reinforced with portland cement.

*Results.* The main physico-technical properties of clay soils reinforced with Portland cement, modified with a complex hydrophobic-plasticizing additive, are studied. A graphical interpretation of the results of a mathematical model showing the effect of the components of a complex hydrophobic-plasticizing additive on a polymineral reinforced with portland cement (with a content of relic minerals greater than 85 %), kaolinitic (with a kaolinite mineral content up to 95 %) and montmorillonite (with a montmorillonite mineral content up to 70 %) clay.

*Conclusions.* The significance for the construction industry is that the introduction of a complex hydrophobic-plasticizing additive led to an increase in compressive strength of cement-reinforced polymineral clay by 102 %, kaolinitic clay by 86 %, montmorillonite clay by 56 %, tensile strength at bending – by 89 %, 71 % and 28 %, frost-resistance – by 114 %, 50 % and 52 % respectively.

**Keywords:** ultimate compressive strength, ultimate tensile strength, freeze-thaw resistance, soil-cement, polymineral clay, kaolinitic clay, montmorillonite clay.

#### **References**

1. 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.
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. Mavliev L., Bulanov P., Vdovin E., Zaharov V., Gimazov A. Road Soil Cement with Complex Additives Based on Organosilicon Compounds and Electrolytes // *ZKG: ZEMENT-KALK-GIPS INTERNATIONAL*. 2016. Vol. 69. № 9. P. 49–54.
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 Mesozoozoic complexes of the Republic of TatarstanKazan': 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. Bulanov P. E., Gimazov A. R., Zamaliev I. R., Vdovin E. A., Mavliev 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.
7. Falikman V. R. Polycarboxylate hyperplasticizers: yesterday, today, tomorrow // *Populyarnoye betonovedeniye*. 2009. № 2 (28). P. 86–90.
8. Koizumi K., Umemura Y., Tsuyuki N. Effects of chemical admixtures on the silicate structure of hydrated portland cement // *Proceedings of the 12<sup>th</sup> international congress on the chemistry of cement montreal*. 2007. P. 64–71.
9. 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.
10. Jeknavorian A. A., Jardine L., Ou C. C., Koyata H., Folli K. J. Interaction of superplasticizers with clay-bearing aggregates: special publication AG 7<sup>th</sup> CANMET conference on superplasticizers and other chemical admixtures / Berlin, Germany, 2003. P. 1293–1316.
11. Sakai E., Atarashi D., Daimon M. Interaction between superplasticizers and clay minerals: special publication 1/6<sup>th</sup> CANMET conference on superplasticizers and other chemical admixtures / China, 2006. P. 1560–1566.
12. Atarashi D., Sakai E., Obinata R., Daimon M. Interactions between superplasticizers and clay minerals // *Cem. sci. concr technol*. 2004. № 58. P. 387–392.
13. 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.
14. Amarasinghe P. M., Katti K. S., Katti D. R. Nature of organic fluid-montmorillonitey interactions: an FTIR spectroscopic // *J. colloid interface sci*. 2009. 337. P. 97–105.
15. 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.
16. Suter J. L., Coveney P. V. Computer simulation study of the materials properties of intercalated and exfoliated poly(ethylene)glycol clay nanocomposites // *Soft mater*. 2009. № 11. P. 2239–2251.
17. 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*. 2014. № 60. P. 1–10.
18. Zhang L., Lu Q., Xu Zh., Liu Q., Zeng H. Effect of polycarboxylate ether comb-type polymer on viscosity and interfacial properties of kaolinite clay suspensions // *Journal of colloid and interface science*. 2012. № 378. P. 222–231.