



УДК 691:624.138

Буланов П.Е. – аспирант

E-mail: f_lays@mail.ru

Мавлиев Л.Ф. – ассистент

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru

Вдовин Е.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: vdovin007@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Оптимизация состава щебеночно-песчаной смеси, обработанной портландцементом в комплексе с пластифицирующей и гидрофобизирующей добавкой

Аннотация

Проведено исследование влияния комплексной добавки на основе гиперпластификатора «Гиперлит» (ГЛ) и гидрофобизатора октилтриэтоксисилан (ОТЭС) на прочность и морозостойкость щебеночно-песчаной смеси, обработанной портландцементом (ЩПЦС). С помощью метода планирования эксперимента получены зависимости влияния расхода портландцемента, состава и дозировки комплексной добавки на основе гиперпластификатора ГЛ и гидрофобизатора ОТЭС на физико-механические свойства материала. Выявлены оптимальные дозировки добавок для получения ЩПЦС марки по прочности М40, М60, М75 и морозостойкости F50.

Ключевые слова: ЩПЦС, оптимизация состава, физико-механические свойства, гидрофобизатор, гиперпластификатор.

Введение. Одним из важнейших факторов влияющих на долговечность дорожных одежд автомобильных дорог является рост скорости движения, интенсивности и осевых нагрузок. Это в свою очередь ведет к накоплению остаточных деформаций в слоях дорожных конструкций, проявляющихся в колееобразовании, появлении сетки трещин и других видов разрушений. В результате этого сокращаются фактические межремонтные сроки по сравнению с нормативными, что требует увеличения объемов ремонтных работ и дополнительных финансовых вложений. Из опыта последних лет эксплуатации автомобильных дорог с большой интенсивностью движения, для снижения накопления остаточных деформаций, в слоях дорожных одежд перспективным является применение щебеночно-песчаных смесей обработанных портландцементом (ЩПЦС) марок М40, М60, М75 и М100 по ГОСТ 23558-94 [1].

Также немаловажное значение имеет отсутствие во многих субъектах Российской Федерации запасов прочных каменных материалов, транспортировка которых ведет к значительному удорожанию строительства автомобильных дорог. В то же время мировой и отечественный опыт доказал эффективность и значительные преимущества применения в конструкциях дорожных одежд укрепленных грунтов и обработанных материалов по сравнению с использованием привозного прочного щебня [2, 3, 4].

Однако, ЩПЦС подвержены трещинообразованию под воздействием переменных во времени температурно-влажностных факторов и обладают невысокой морозостойкостью [1].

Наиболее перспективным направлением в решении данной проблемы является модификация ЩПЦС пластифицирующими [4, 5] и гидрофобизирующими добавками [6]. Проведенные эксперименты показали, что в качестве пластифицирующей добавки эффективно использование гиперпластификатора ГЛ [7], а гидрофобизирующей – кремнийорганического соединения ОТЭС [6]. Поэтому целью данной работы явилось получение оптимального состава ЩПЦС с комплексной добавкой на основе гиперпластификатора ГЛ и гидрофобизатора ОТЭС.

Экспериментальная часть

Для проведения исследований в качестве заполнителей ЩПЦС использован песок очень мелкий Именьковского карьера Республики Татарстан с модулем крупности 1,34 по ГОСТ 8736-93 и щебень Жигулевского месторождения Самарской области с маркой по дробимости М400 фр. 5-20 по ГОСТ 8267-93. В качестве вяжущего применялся портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I 42,5Н ЗАО «Ульяновскцемент» в количестве 5 %, 7 % и 9 % от массы щебеночно-песчаной смеси (ЩПС). Для получения ЩПС выбрано процентное соотношение песка и щебня 70:30, обеспечивающее наибольшие показатели по прочности обработанного материала. Гиперпластификатор ГЛ представлял собой сополимер на основе полиоксиэтиленовых производных ненасыщенных карбоновых кислот (производство ООО «СВАН»). Гидрофобизатор ОТЭС представлял собой кремнийорганическую жидкость $C_8H_{17}Si(OC_2H_5)_3$ (производство ООО «Пента-91»). Добавки вводились в ЩПЦС от массы ПЦ.

Определение прочности на сжатие ЩПЦС производилось на водонасыщенных в течение 2 суток образцах размером 10x10x10 см, прочность на растяжение при изгибе определялась аналогичным образом на образцах размером 10x10x40 см по ГОСТ 10180-90. Морозостойкость изучалась согласно ГОСТ 10060.3-91 на образцах-кубах с ребром 10 см. Коэффициент морозостойкости определяли как отношение прочности образца после испытания на многократное замораживание и оттаивание к прочности образца до испытания. Коэффициент морозостойкости находили после проведения 50 циклов замораживания-оттаивания. Возраст образцов на момент проведения испытаний составлял 28 суток.

Предел прочности на сжатие контрольных образцов при расходе ПЦ 5 %, 7 % и 9 % составил 3,25 МПа, 4,56 МПа и 5,56 МПа, предел прочности на растяжение при изгибе – 0,74 МПа, 1,12 МПа и 1,38 МПа, коэффициент морозостойкости – 0,49, 0,58 и 0,60 соответственно.

С учетом вышеизложенного нами для оптимизации состава ЩПЦС был применен метод математического планирования эксперимента. В качестве переменных факторов были выбраны процентное содержание: ПЦ (X1), ОТЭС (X2) и ГЛ (X3). Основной уровень и интервалы варьирования факторов приведены в таблице.

Таблица

Кодированные и натуральные переменные факторы

ПЕРВЫЙ ФАКТОР	ВТОРОЙ ФАКТОР	ТРЕТИЙ ФАКТОР
X1- ПЦ	X2 - ОТЭС	X3 - ГЛ
Основное значение	Основное значение	Основное значение
X1 ₀	X2 ₀	X3 ₀
7	0,3	0,6
Интервал варьирования	Интервал варьирования	Интервал варьирования
$\Delta X1$	$\Delta X2$	$\Delta X3$
2	0,15	0,3

В качестве параметров оптимизации (функций отклика) приняты:

$R_{сж}$ – предел прочности на сжатие, МПа;

$R_{изг}$ – предел прочности на растяжение при изгибе, МПа;

$K_{мор}$ – коэффициент морозостойкости.

Уравнения регрессии представлены в виде полинома второй степени:

$$R_{сж} = -5,3385 + 1,50054 \cdot X_1 + 9,1341 \cdot X_2 + 4,94561 \cdot X_3 - 0,02777781 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,07341 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,291 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,0414 \cdot X_1^2 - 14,3128 \cdot X_2^2 - 3,6342 \cdot X_3^2;$$

$$R_{изг} = -1,2244 + 0,41754 \cdot X_1 + 1,6101 \cdot X_2 + 0,84791 \cdot X_3 + 0,003968259 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,0099 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,07937 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,0176 \cdot X_1^2 - 2,83558 \cdot X_2^2 - 0,5969 \cdot X_3^2;$$

$$K_{мор} = -0,5589 + 0,23651 \cdot X_1 + 1,3394 \cdot X_2 + 0,34475 \cdot X_3 - 0,02777781 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,006 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,0265 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,0129 \cdot X_1^2 - 1,24534 \cdot X_2^2 - 0,2367 \cdot X_3^2.$$

Расчетные значения F – критерия Фишера (оценка адекватности) для функций $R_{сж}$, $R_{изг}$, $K_{мор}$ равны соответственно 1,80; 1,07; 3,10, т.е. меньше табличного, которое при уровне значимости 5 % равно 5,05. Это свидетельствует о том, что уравнения адекватны.

По полученным уравнениям регрессии были построены функции отклика в виде двухпараметрических зависимостей. На рисунках 1-3 приведены зависимости предела прочности на сжатие ($R_{сж}$), предела прочности на растяжение при изгибе ($R_{изг}$) и коэффициента морозостойкости ($K_{мор}$) от содержания добавок ОТЭС и ГЛ при расходе ПЦ 5 %, 7 % и 9 %.

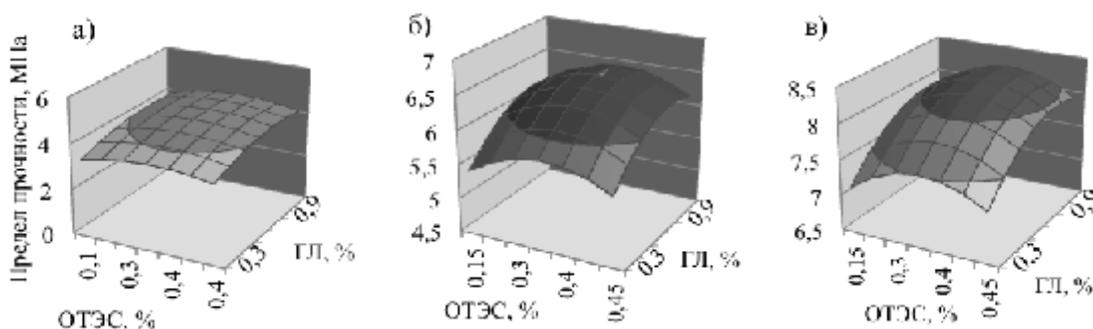


Рис. 1. Зависимость предела прочности на сжатие от содержания добавок ОТЭС и ГЛ при дозировке ПЦ: а) 5 %; б) 7 %; в) 9 %

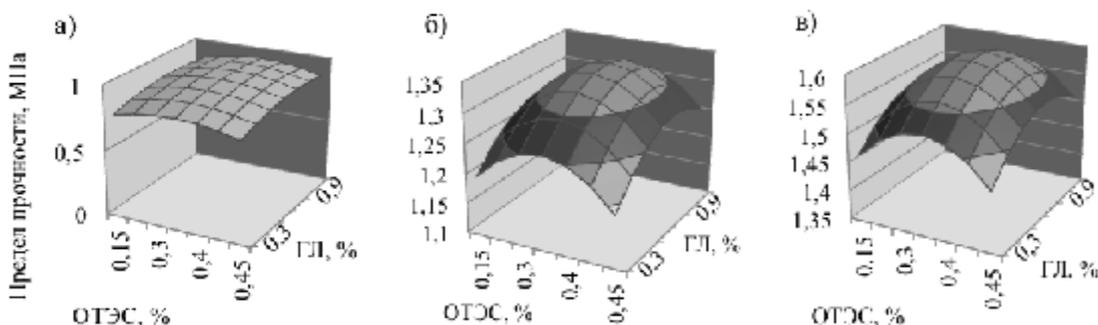


Рис. 2. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от содержания добавок ОТЭС и ГЛ при дозировке ПЦ: а) 5 %; б) 7 %; в) 9 %

Анализ графиков рис. 1-3 показал эффективность комплексного введения пластификатора ГЛ и гидрофобизатора ОТЭС в состав ЩПЦС.

Комплексное введение добавок привело к увеличению предела прочности на сжатие до 36 %, 42,8 % и 48,9 % при расходе ПЦ 5 %, 7 % и 9 % соответственно. Наибольший эффект достигается при введении добавок ГЛ – 0,7 % и ОТЭС – 0,35 % с расходом ПЦ 5 % и 7 %, ГЛ – 0,8 % и ОТЭС – 0,35 % с расходом ПЦ 9 %.

При этом предел прочности на растяжение при изгибе увеличился до 27,0 %, 19,6 % и 15,9 % при расходе ПЦ 5 %, 7 % и 9 % соответственно. Наибольший эффект достигается от введения добавок ГЛ – 0,7 % и ОТЭС – 0,35 % при всех рассмотренных расходах ПЦ.

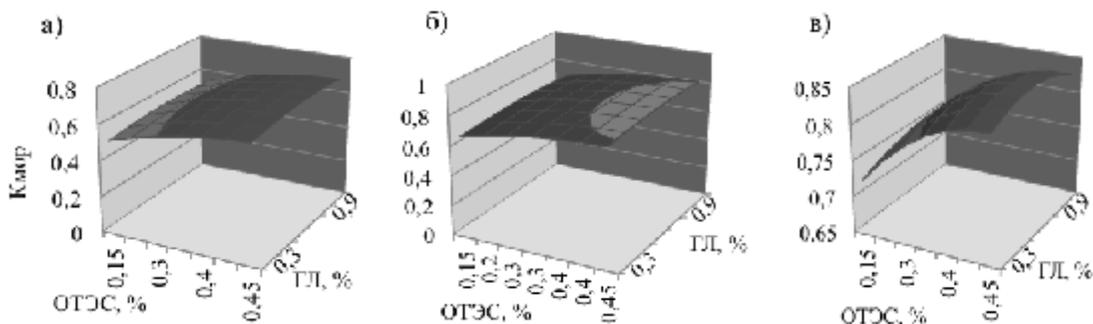


Рис. 3. Зависимость коэффициента морозостойкости от содержания добавок ОТЭС и ГЛ при дозировке ПЦ: а) 5 %; б) 7 %; в) 9 %

Также произошло увеличение коэффициента морозостойкости до 40,8 %, 41,4 % и 41,6 % при расходе ПЩ 5 %, 7 % и 9 % соответственно. Наибольший эффект достигнут от введения добавок ГЛ – 0,6 % и ОТЭС – 0,45 % при всех рассмотренных расходах ПЩ.

Марка по прочности М40 достигнута при введении комплекса добавок ГЛ – 0,6 % и ОТЭС – 0,15 % с расходом ПЩ 5 %, М60 – 0,6 % и 0,15 % с расходом ПЩ 7 % и М75 – 0,4 % и 0,2 % с расходом ПЩ 9 % соответственно. Марка по морозостойкости F50 при содержании ПЩ 5 % в комплексе с добавками ГЛ и ОТЭС не получена. С расходом ПЩ 7 % достигнута марка по морозостойкости F50 при введении добавок ГЛ – 0,4 % и ОТЭС – 0,3 %, с ПЩ 9 % – 0,3 % и 0,2 % соответственно. Следует отметить, что ЩЩС с расходом ПЩ 5 % и содержанием ГЛ 0,3 %, ОТЭС 0,15 % получена марка по морозостойкости F25.

Обсуждение результатов

Анализ результатов исследований показал, что комплексное применение добавок ГЛ и ОТЭС имеет полифункциональное действие: ГЛ значительно влияет на повышение прочности, а ОТЭС – морозостойкости ЩЩС.

Повышение прочности ЩЩС возможно объясняется образованием большего количества гидросиликатов кальция при введении добавки ГЛ. Это происходит за счет того, что молекулы воды диспергированные в пространственной сетке гиперпластификатора, выполняют роль микрореакторов для синтеза гидросиликатов кальция [8].

Увеличение морозостойкости объясняется повышенной гидрофобностью материала при введении кремнийорганического соединения ОТЭС за счет происходящей химической адсорбции минеральными частицами и образования на их поверхности моно- или полимолекулярных водоотталкивающих пленок [9].

Закключение. Установлены математические зависимости влияния расхода ПЩ, дозировок добавок ГЛ и ОТЭС на физико-механические свойства ЩЩС. Получены оптимальные составы ЩЩС с маркой по прочности и морозостойкости М40 и F25 при содержании ПЩ – 5 %, ГЛ – 0,6 %, ОТЭС – 0,15 %, М60 и F 50 при содержании ПЩ – 7 %, ГЛ – 0,6 %, ОТЭС – 0,3 %, М75 и F50 при содержании ПЩ – 7 %, ГЛ – 0,4 %, ОТЭС – 0,2 %.

Список библиографических ссылок

1. Матуа В.П., Сизонец С.В. Исследование влияния стабилизирующих добавок на свойства укрепленных минеральными вяжущими щебеночно-песчаных смесей // Новые технологии, 2013, № 1. – С. 50-55.
2. Безрук В.М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. – М.: Транспорт, 1971. – 247 с.
3. Davidson D.T., Pitre G.L., Mateos M., George K.P. Moisture Strength and Compaction Characteristics of Cement- Treated Soil Mixtures // HRB Bulletin, 1962, № 353. – P. 42-63.
4. 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.
5. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 528 с.
6. Вдовин Е.А., Строганов В.Ф., Мавлиев Л.Ф., Буланов П.Е. Исследование влияния кремнийорганических соединений на показатели стандартного уплотнения и физико-механические свойства цементогрунта // Известия КГАСУ, 2014, № 4 (30). – С. 255-261.
7. Пименов А.И., Ибрагимов Р.А. Изотов В.С. Влияние углеродных нанотрубок и способа их введения на свойства цементных композиций // Известия вузов. Строительство, 2014, № 6. – С. 26-30.
8. Вернигорова В.Н., Костин Д.С., Саденко Д.С., Ульянов Д.В. О взаимодействии суперпластификаторов и гиперпластификаторов с водой // Региональная архитектура и строительство, 2010, № 1. – С. 26-30.

9. Калашников В.И., Мороз М.Н. Высокогидрофобные многокомпонентные малошлаковые мелкозернистые бетоны // Научный вестник ВГАСУ, 2010, № 1. – С. 106-112.

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

E-mail: vdovin007@mail.ru

Bulanov P.E. – post-graduate student

E-mail: f_lays@mail.ru

Mavliev L.F. – assistant

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

The optimization of stone-sand mixture treated by portland cement in combination with plasticizer and water-repellent additive

Resume

One of the most important factors what affect on the durability of road surfacing to increase speed, intensity and axial loads. From the experience of the last years of operation of highways with heavy traffic, in the layers of road pavement promising is the use of crushed stone, sand mixtures treated with Portland cement.

Also of great importance is the absence in many regions of the Russian Federation reserves durable stone materials, transportation of which leads to a significant increase in the cost of road construction. At the same time global and domestic experience has proven efficacy and significant advantages of application in the construction of road pavement strengthening of soil and processed materials in comparison with using of imported durable rubble.

However, stone-sand mixtures treated Portland susceptible to cracking under the influence of time-varying temperature and humidity factors and have low resistance to frost.

The most promising direction in solving this problem is to modify the rubble-sand mixture, Portland cement treated by plasticizer and water-repellent additives. Therefore, the aim of this work was to obtain the optimal composition of rubble-sand mixture, Portland cement treated with a complex additive based on giperplasticizer «Giperlit» and water repellent octyltriethoxysilane strength and frost rubble-sand mixture treated with Portland cement. Using the method of experiment planning dependences influence consumption of Portland cement, the composition and dosage of supplements on the basis of a comprehensive hiperplasticiser and water repellent on the physical and mechanical properties of the material was determined.

Keywords: stone-sand mixture treated by portland cement, optimization of composition, physico-mechanical properties, water repellent, hiperplasticizer.

Reference list

1. Matua V.P., Sizonec S.V. Influence of stabilizing additives on the properties of hardened mineral binders stone-sand mixtures // *Novye tekhnologii*, 2013, № 1. – P. 50-55.
2. Bezruk V.M. Soil stabilization in road and airfield construction. – M.: Transport, 1971. – 247 p.
3. Davidson D.T., Pitre G.L., Mateos M., George K.P. Moisture Strength and Compaction Characteristics of Cement- Treated Soil Mixtures // *HRB Bulletin*, 1962, № 353. – P. 42-63.
4. 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.
5. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete. – M.: Publishers ASV, 2011. – 528 p.

6. Vdovin E.A., Stroganov V.F., Mavliev L.F., Bulanov P.E. The study of the influence of organosilicon compounds on the performance of standard seals and physico-mechanical properties of soil-cement // *Izvestiya KGASU*, 2014, № 4 (30). – P. 255-261.
7. Pimenov A.I., Ibragimov R.A., Izotov V.S. Effect of carbon nanotubes and method of administration for properties of cement compositions // *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*, 2014, № 6. – С. 26-30.
8. Vernigova V.N., Kostin D.S., Sadenko D.S., Ulyanov D.V. High hydrophobic blended fine-grained concrete with low slag content // *Regionalnaya arhitektura i stroitelstvo*, 2010, № 1. – P. 26-30.
9. Kalashnikov V.I., Moroz M.N. Highly hydrophobic multicomponent little slag fine-grained concrete // *Nauchnyy vestnik VGASU*, 2010, № 1. – P. 106-112.