

УДК 624.138

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК В СОСТАВАХ ЦЕМЕНТОГРУНТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОТХОДАМИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Панков П.П., Коновалова Н.А., Дабизжа О.Н.

Забайкальский институт железнодорожного транспорта, Чита, e-mail: zabizht_engineering@mail.ru

В статье представлены результаты исследований по применению стабилизирующих добавок различной природы в составах цементогрунтов, модифицированных отходами теплоэнергетики Забайкальского края. Приведены характеристики исходного минерального сырья (портландцемент, зола уноса Читинской ТЭЦ-2). Показана зависимость прочностных характеристик модифицированных цементогрунтов на основе суглинка и супеси от массовой доли портландцемента и золошлакового материала. Найдено оптимальное содержание золы уноса (10 мас. %) и портландцемента (8 мас. %) в цементогрунтах для получения дорожно-строительных композитов с максимальной прочностью. Установлено, что стабилизатор Криогелит, разработанный в Забайкальском институте железнодорожного транспорта, позволяет получать цементогрунт с наиболее высокой прочностью и морозостойкостью (не менее F15), при содержании портландцемента 8 мас. %. Выявлено, что стабилизирующая добавка полимерного типа Криогелит способствует образованию вторичных грунтовых микроагрегатов и приводит к образованию плотной коагуляционной структуры в цементогрунтах.

Ключевые слова: цементогрунт, золошлаковые отходы, стабилизирующая добавка, дорожно-строительные материалы, глинистый грунт, стабилизация грунта

THE USE OF STABILIZING ADDITIVES IN COMPOSITIONS OF CEMENTOGRONTS MODIFIED BY WASTE OF HEAT-POWER ENGINEERING

Pankov P.P., Konovalova N.A., Dabizha O.N.

Zabaikalsky Railway Transport Institute, Chita, e-mail: zabizht_engineering@mail.ru

The results of research on the use of stabilizing additives of various nature in the compositions of cementitious materials modified by the waste of heat power engineering of the Transbaikalian Territory are presented in this article. The characteristics of the initial mineral raw material (Portland cement, fly ash from Chita CHPP-2) are given. Dependence of strength characteristics of modified cement mortars on the basis of loam and sandy loam on the mass fraction of Portland cement and ash and slag material is shown. It was found that the optimum content of fly ash and Portland cement in cementitious grouts for the production of road-building composites with a maximum strength of 10 and 8 wt. % respectively. It is established that the Cryogelite stabilizer, developed at the Transbaikalian Institute of Railway Transport, makes it possible to produce a cement with the highest strength and frost resistance (at least F15) with a portland cement content of 8 wt. %. It is revealed that the stabilizing additive of the polymer type Cryogelite promotes the formation of secondary soil microaggregates and leads to the formation of a dense coagulation structure in cementitious grouts.

Keywords: cement cement, ash-and-slag wastes, stabilizing additive, road building materials, clayey soil, stabilization of soil

Дефицит кондиционных минеральных материалов во многих регионах России является основной причиной резкого увеличения цен дорожного строительства. Применение местного минерального сырья и отходов производства, улучшенных стабилизирующими добавками различной природы, является эффективным способом снижения материально-технических затрат, а также решения комплекса острых экологических проблем [1]. Многочисленные исследования второй половины XX века свидетельствуют, что зарубежные стабилизаторы грунта неэффективны ввиду их высокой стоимости и неприменимости в условиях северных регионов [2]. В этой связи перспективным направлением является разработка составов дорожно-строительных материалов на основе местных сырьевых материалов, модифицированных стабили-

зирующими добавками, улучшающими их водостойкость, морозостойкость и прочностные характеристики [3–5].

Целью настоящей работы является разработка составов эффективных цементогрунтов на основе местных глинистых пород, модифицированных отходами теплоэнергетики Забайкальского края и стабилизирующими добавками различной природы.

Исходными сырьевыми материалами выбраны суглинок и супесь по ГОСТ 25100-2011 (Забайкальский край); зола уноса ТЭЦ-2 (г. Чита). В качестве вяжущего использован портландцемент марки ЦЕМ II/A-Ш 32,5Б Ангарского цементно-горного комбината (Иркутская область), в качестве стабилизаторов цементогрунта – известные на рынке АНТ; Статус; полифизлизаторы ПГСЖ 1 и ПГСЖ 3; полимерная эмульсия М 10 + 50 и добавка полимерного типа Криогелит, разработанная

в Забайкальском институте железнодорожного транспорта (ЗабИЖТ ИрГУПС).

Химический состав портландцемента (ПЦ) и золы уноса (ЗУ) определяли спектрометром эмиссионным *Optima 5300DV* (167-403 нм) *PerkinElmer*, методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС). ИК-спектр ЗУ регистрировали инфракрасным Фурье-спектрометром SHIMADZU FTIR-8400S на таблетках с KBr, приготовленных по стандартной методике. Эффективную удельную активность ($A_{эф}$) природных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) в пробе ЗУ измеряли в соответствии с требованиями СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». Плотность исходных и стабилизированных грунтов определяли пикнометрическим методом, в качестве рабочей жидкости использовали керосин ТС-1 ($\rho = 0,78 \text{ г/см}^3$). Удельную поверхность образцов измеряли методом воздухопроницаемости на приборе Товарова Т-3, постоянная прибора, установленная по эталонному минеральному порошку, равна 29,91. Прочностные характеристики изучали в соответствии с ГОСТ 23558-94 на образцах, подвергнутых полному водонасыщению. Электронно-микроскопические фотографии регистрировали растровым электронным микроскопом JEOL JSM-6510LV на базе ЦКП «Прогресс» ФГБОУ ВО ВСГУТУ (г. Улан-Удэ).

Выявлено, что проба ЗУ по радиационному признаку относится к 1 классу, так как величина $A_{эф}$ составляет 248 Бк/кг (экспертное заключение ООО «ЛЭП» № 18 от 29.12.2014 г.). Следовательно, в соответствии с ГОСТ 30108-94, сырьевой материал

может использоваться в строительстве без ограничений.

Прочность цементогрунтов во многом зависит от качества цемента, которое можно оценить по его химическому составу. Данные табл. 1 указывают на благоприятные значения силикатного и глиноземного модулей исследуемого ПЦ, составляющие 2,4 и 1,8 соответственно. В то же время гидравлический и кремнеземный модули вяжущего равны 1,0 и 3,8 соответственно.

Таблица 1

Содержание некоторых оксидов в составе портландцемента

ω, мас. %					
Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	SO ₃
8,51	46,89	4,83	4,48	32,07	3,22

Исследуемая ЗУ имеет алюмосиликатный состав, ω, мас. %: 36,1 SiO₂; 10,2 Al₂O₃; 7,80 Fe₂O₃; 1,42 MgO; 0,56 Na₂O; 1,21 K₂O; 0,41 TiO₂; 0,61 SO₃; 9,37 CaO; 0,4 CaO_{св}. Показатели гидравлической активности исследуемой ЗУ Читинской ТЭЦ-2 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели гидравлической активности исследуемой золы уноса

Показатели	Значения
Модуль основности M_0	0,27
Силикатный модуль M_c	2,00
Коэффициент качества K	0,57
Содержание CaO _{общ} , мас. %	9,37
Содержание CaO _{своб} , мас. %	0,40

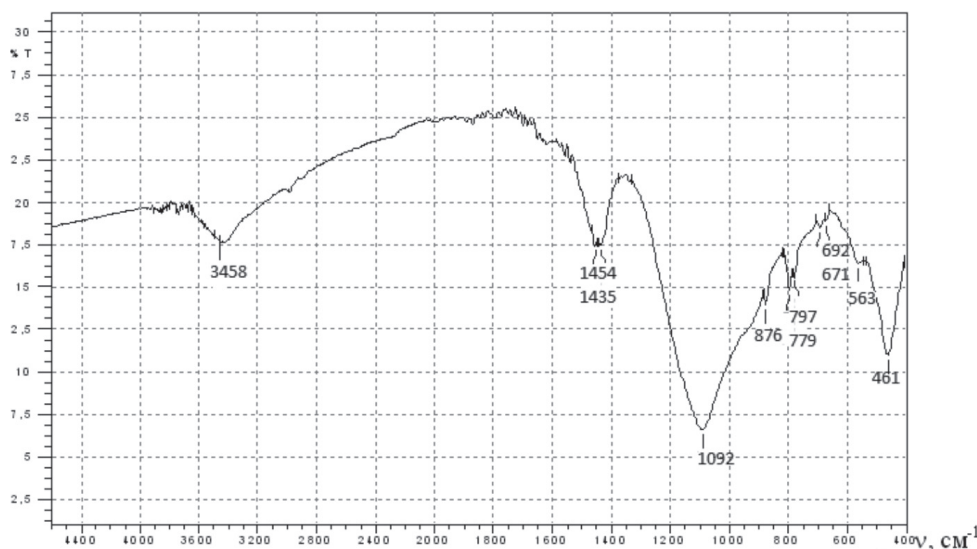


Рис. 1. ИК-спектр золы уноса ТЭЦ-2

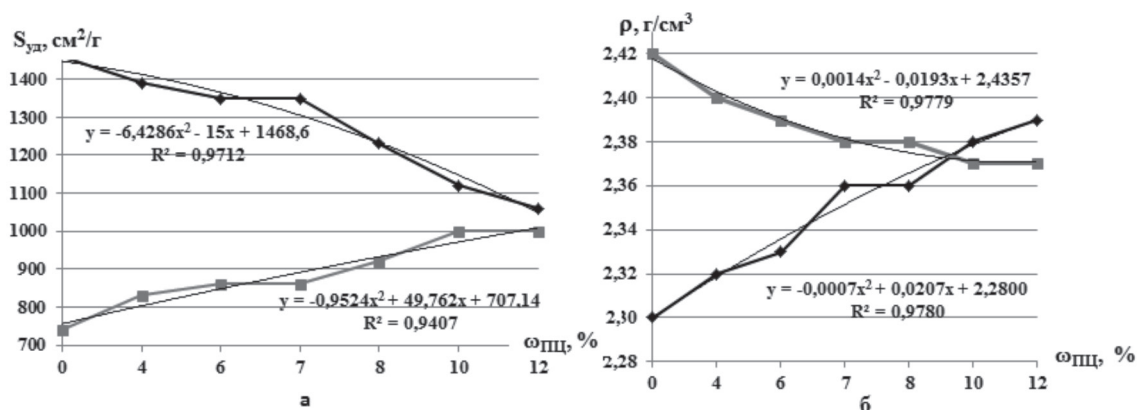


Рис. 2. Зависимость удельной поверхности (а) и плотности (б) модифицированных золой уноса ($\omega = 10$ мас. %) цементогрунтов от содержания в них портландцемента:

■ — суглинок; □ — супесь

Анализ данных табл. 2 показал, что ЗУ Читинской ТЭЦ-2 по гидравлическим свойствам относятся к скрыто-активным. Методом инфракрасной спектроскопии (ИКС) в составе ЗУ обнаружен кальцит, что подтверждают полосы поглощения с максимумами при 1454; 1435 и 876 см⁻¹, связанные с валентными и деформационными колебаниями группы CO₃²⁻ (рис. 1).

Характеристические полосы поглощения с максимумами при 797; 779 см⁻¹ и 692; 671 см⁻¹, свидетельствуют о наличии в пробе ЗУ кварца и кристобалита. Полосы поглощения с максимумами при 563 и 461 см⁻¹ (Fe-O) принадлежат гематиту, а при 3458 и 1092 см⁻¹ отвечают валентным колебаниям групп OH и Si-O-Si (Al).

Методом подбора установлено, что оптимальное содержание ЗУ в системе грунт – зола уноса – портландцемент составляет 10 мас. %, а ПЦ – 8 мас. %. Зависимость удельной поверхности и плотности цементогрунтов от массовой доли портландцемента приведена на рис. 2.

Выявлено, что в модифицированных цементогрунтах на основе супеси плотность и удельная поверхность равны $\rho = 2,38$ г/см³, $S_{уд} = 920$ см²/г, а на основе суглинка – $\rho_{уд} = 2,36$ г/см³, $S_{уд} = 1230$ см²/г. Следовательно, образцы цементогрунта с оптимальным содержанием вяжущего имеют практически одинаковую плотность материала. Пределы прочности на сжатие ($R_{сж}$) и при изгибе ($R_{изг}$), марка по морозостойкости цементогрунтов, модифицированных 10 мас. % ЗУ в зависимости от содержания ПЦ и типа стабилизирующих добавок представлены в табл. 3.

Выявлено, что тип грунта (суглинок, супесь) не влияет на величину предела прочности на сжатие для исходных образцов

без стабилизаторов. Несмотря на то, что наивысшая прочность цементогрунтов, стабилизированных добавкой АНТ, имеет место при массовой доле вяжущего 10 %, их марка по морозостойкости менее F15, что не соответствует нормативным требованиям. Кроме того, образцы с массовой долей ПЦ 6 и 8 мас. % имеют близкие значения прочностных характеристик. В этой связи целесообразно применять 6 мас. % вяжущего, что согласуется с рекомендациями разработчика стабилизатора грунта АНТ.

Использование стабилизатора Статус позволяет получать морозостойкий материал только при содержании ПЦ 12 мас. %, при этом максимальная прочность на сжатие при 20 °С наблюдается при 10 мас. % ПЦ, вне зависимости от типа грунта. Образцы цементогрунта, улучшенные полифизлизатором ПГСЖ 1 и ПГСП 3 ($\omega_{пц} = 6-12$ мас. %) имеют высокие прочностные характеристики, соответствующие нормативным требованиям, однако они не соответствуют требуемой марке по морозостойкости. Требуемая марка по прочности и морозостойкости цементогрунтов, стабилизированных добавкой М10 + 50, имеет место исключительно у образцов с массовой долей ПЦ 12 мас. %.

Максимум прочности для образцов цементогрунта, стабилизированных полимерной добавкой Криогелит, наблюдается при массовом содержании ПЦ равном 8 %. Найдено, что все цементогрунты, кроме образцов на основе супеси с массовой долей ПЦ 6 мас. %, имеют требуемую марку по морозостойкости. Следовательно, среди всех исследуемых стабилизирующих добавок только АНТ и Криогелит позволяют получать материал с наиболее высокой прочностью и морозостойкостью, марки не менее F15, при содержании ПЦ 8 мас. % (рис. 3).

Таблица 3

Физико-механические характеристики цементогрунтов, стабилизированных добавками ANT ($\omega = 0,0071$ мас. %); Статус ($\omega = 0,25$ мас. %); ПГСЖ 1 и ПГСП 3 ($\omega = 0,04$ и $2,00$ мас. %); M10+50 ($\omega = 1,5$ мас. %); Криогелит ($\omega = 1,0$ мас. %)

Грунт	Стабили- зирующая добавка	$\omega_{\text{пш}}$, мас. %	$R_{\text{сж}}$, МПа		$R_{\text{из}}$, МПа		$R_{\text{сж}}$, 20 °С, МПа	Марка по морозо- стойкости
			водонасыщение					
			капилляр.	полное	капилляр.	полное		
Суглинок	АНТ	6	3,06	2,30	1,00	0,55	2,95	F15
		8	2,98	2,27	1,58	1,27	3,04	
		10	2,88	2,25	1,42	1,40	3,48	< F15
		12	2,75	2,00	1,46	1,44	2,52	
Супесь		6	2,30	1,95	1,00	0,95	3,00	F15
		8	2,30	2,03	1,31	1,27	2,98	
		10	2,97	2,45	1,40	1,25	3,05	< F15
		12	2,77	2,75	1,40	1,30	2,48	
Суглинок	Статус	6	2,45	2,20	1,28	1,20	1,80	< F15
		8	2,50	2,29	1,43	1,37	1,88	
		10	2,65	2,27	1,32	1,27	3,33	F15
		12	3,12	3,10	0,96	0,67	2,52	
Супесь		6	2,12	2,00	1,00	0,98	1,78	< F15
		8	2,30	1,98	1,45	1,34	1,80	
		10	2,28	2,25	1,27	1,12	2,98	F15
		12	2,95	2,20	1,00	0,71	2,75	
Суглинок	ПГСЖ 1 ПГСП 3	6	2,15	2,00	0,49	0,40	2,55	< F15
		8	2,63	2,14	0,57	0,49	2,60	
		10	2,86	2,96	0,53	0,64	4,32	< F15
		12	2,74	2,59	0,71	0,64	4,88	
Супесь		6	2,00	2,00	0,44	0,40	2,40	< F15
		8	2,45	2,20	0,60	0,51	2,45	
		10	2,65	2,58	0,60	0,58	3,85	< F15
		12	2,70	2,60	0,65	0,50	4,00	
Суглинок	M10 + 50	6	2,28	—	1,15	—	2,64	—
		8	2,85	2,48	1,30	0,90	2,87	
		10	2,80	2,15	1,40	0,98	3,03	< F15
		12	2,78	1,89	1,40	1,10	3,00	
Супесь	M10 + 50	6	1,84	1,20	0,87	—	1,88	< F15
		8	2,65	2,38	1,00	0,78	2,56	
		10	2,65	2,41	1,20	1,00	2,61	F15
		12	2,20	2,20	1,35	1,05	2,35	
Суглинок	Криогелит	6	2,02	2,08	1,08	1,04	3,69	F15
		8	2,91	2,54	1,28	1,36	3,92	
		10	2,50	2,40	1,42	1,42	3,12	< F15
		12	2,65	2,38	1,50	1,48	3,00	
Супесь		6	2,00	2,00	0,98	1,00	3,00	< F15
		8	2,48	2,16	1,10	1,10	3,50	
		10	2,45	2,10	1,34	1,25	3,15	F15
		12	2,40	2,10	1,45	1,42	3,20	

Стабилизирующая добавка полимерного типа Криогелит может взаимодействовать с глинистыми минералами в грунте, тем самым способствовать образованию вторичных грунтовых микроагрегатов. Полимер не вступает в химическое взаимодействие

с портландцементом, а выполняет роль пластификатора, образуя вокруг частиц пластифицирующую пленку. Это подтверждается микрофотографиями исходных и стабилизированных добавкой Криогелит цементогрунтов, представленными на рис. 4.

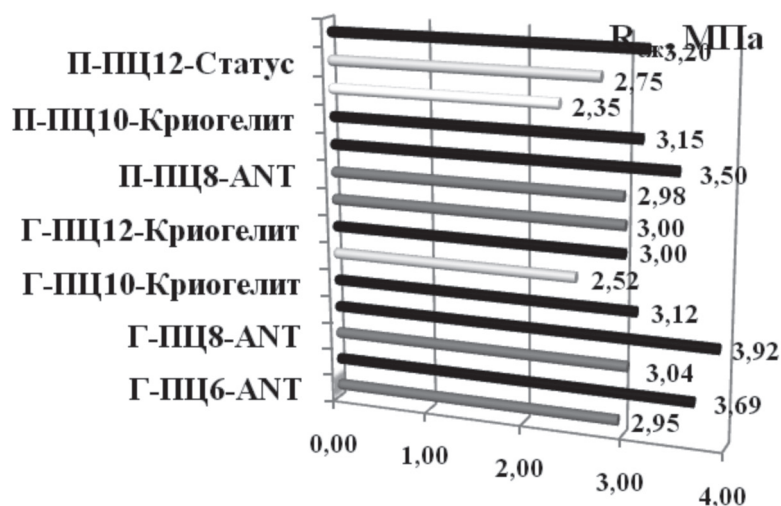


Рис. 3. Предел прочности на сжатие при 20°C морозостойких стабилизированных цементогрунтов: Г – суглинок; П – супесь; ПЦ ω – портландцемент (ω = 6–12 мас. %)

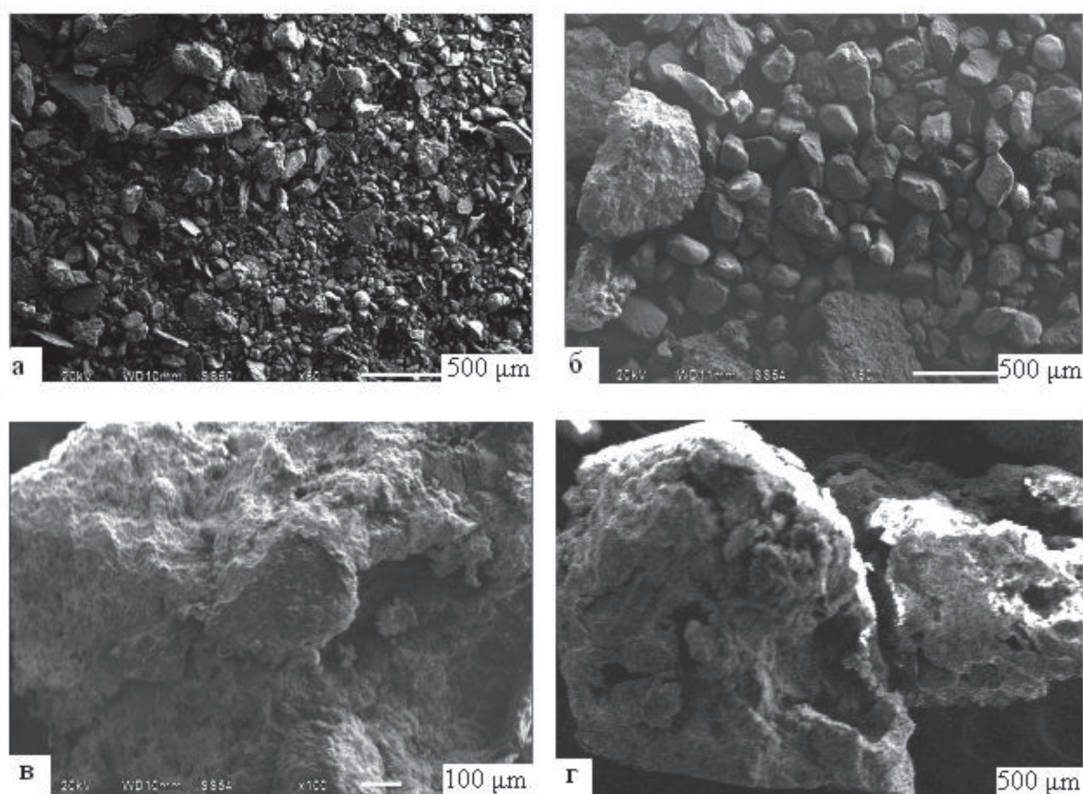


Рис. 4. Микрофотографии СЭМ образцов исходных и стабилизированных добавкой Криогелит цементогрунтов (ω , мас. %: ПЦ-8; ЗУ-10): а, в – на основе суглинка; б, г – на основе супеси

Анализ рис. 4 показал, что модифицированные стабилизирующей добавкой полимерного типа Криогелит цементогрунты имеют плотную коагуляционную структуру.

Выводы

1. Установлена принципиальная возможность использования отходов теплоэнергетики Забайкальского края, на при-

мере золы уноса ТЭЦ-2 г. Чита, в составе эффективных цементогрунтов, что позволяет утилизировать крупнотоннажные отвалы золошлаковых материалов.

2. Показана зависимость прочностных характеристик модифицированных цементогрунтов на основе суглинка и супеси от массовой доли вяжущего (портландцемент марки ЦЕМ II/A-Ш 32,5Б Ангарского цементно-горного комбината, Иркутская область) и золошлакового материала. Найдено, что для получения дорожно-строительных композитов с максимальной прочностью оптимальное содержание в цементогрунтах золы уноса и портландцемента составило 10 и 8 мас. % соответственно.

3. Установлено, что применение стабилизаторов грунта АНТ и Криогелит позволяет получать композиционные материалы с наиболее высокой прочностью и морозостойкостью не менее F15, при оптимальном содержании вяжущего в модифицированных золой уноса цементогрунтах.

4. Изучена морфология цементогрунта исходного и стабилизированного добавкой Криогелит, разработанной в Забайкальском

институте железнодорожного транспорта (ЗабИЖТ ИрГУПС). Выявлено, что стабилизирующая добавка полимерного типа Криогелит способствует образованию вторичных грунтовых микроагрегатов и приводит к образованию плотной коагуляционной структуры в цементогрунтах.

Список литературы

1. Коновалова Н.А. Использование золошлаковых отходов Забайкальского края для улучшения свойств грунтов при строительстве и ремонте инженерных сооружений / Н.А. Коновалова, Е.А. Корякина, П.П. Панков // Естественные и технические науки. – 2016. – № 5. – С. 23–29.
2. Кочеткова Р.Г. Современные методы улучшения свойств глинистых грунтов вяжущими и добавками. – М.: МАДИ, 2014. – 132 с.
3. Вдовин Е.А. Повышение качества укрепленных грунтов введением гидрофобизирующих добавок / Е.А. Вдовин, Л.Ф. Мавлиев // Известия КазГАСУ. – 2012. – № 4 (22). – С. 373–377.
4. Вдовин Е.А. Пути повышения эффективности укрепления грунтов для строительства дорожных одежд / Е.А. Вдовин, В.Ф. Строганов, Л.Ф. Мавлиев // Вестник СибАДИ. – 2013. – № 1 (29). – С. 52–58.
5. Жигайлов А.А. Влияние степени уплотнения на основные характеристики цементогрунта с полимерной добавкой / А.А. Жигайлов, А.Н. Шуваев, С.А. Куюков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – № 5. – С. 131–134.