



УДК 691:624.138

**Буланов П.Е.** – ассистент

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

**Асанбаев Р.Б.** – студент

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

**Хайруллин И.И.** – студент

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

**Валеева Г.Р.** – студент

E-mail: [m.a.d.d.o.g@bk.ru](mailto:m.a.d.d.o.g@bk.ru)

**Репенко Д.А.** – студент

**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)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

### **К вопросу о применении цементогрунта в дорожном строительстве**

#### **Аннотация**

Проведен анализ отечественной и зарубежной литературы в области получения и применения цементогрунта – дорожно-строительного материала на основе грунта и портландцемента. Рассмотрены возможности получения и применения цементогрунта, предъявляемые к нему требования, а также влияние технологических факторов на качественные характеристики получаемого материала. Определено, что попеременное замораживание и оттаивание имеют наиболее разрушительное действие на цементогрунтовые слои конструкций дорожных одежд.

**Ключевые слова:** грунт, цементогрунт, прочность, морозостойкость, технологические факторы.

Вопросам укрепления грунтов посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых – В.М. Безрука, Ю.М. Васильева, Л.В. Гончаровой, В.М. Кнатько, В.А. Кельмана, В.В. Охотина, П.А. Ребиндера, М.М. Филатова, С.W. Correns, С.S. Dunn, J. Hashimoto, J.K. Mitchell, G.H. Hilt, D.T. Davidson, J.G. Laguros, T.W. Lambe, R.C. Mainfort и др. Разработка эффективных материалов для дорожных одежд на основе местных укрепленных грунтов с использованием различных вяжущих и модифицирующих добавок является одним из перспективных направлений исследований в дорожном строительстве.

В районах с отсутствием запасов прочных каменных материалов, применение укрепленных грунтов, особенно в сельской местности, становится одной из возможностей удешевления стоимости строительства, сбережения энергии, ресурсов и времени. При этом под укреплением понимают совокупность мероприятий, обеспечивающих в конечном итоге коренное изменение структуры и свойств укрепляемых грунтов, с приданием требуемых физико-механических характеристик.

Одним из наиболее эффективных, дешевых и универсальных методов укрепления считается применение цемента. Введение цемента придает грунтам требуемые строительно-технические свойства, как и в других цементосодержащих материалах. За рубежом использование цемента для укрепления грунтов также нашло развитие и считается одним из методов удешевления строительства автомобильных дорог. В свою очередь применение цементогрунта в конструкции дорожной одежды оказывает положительное влияние на улучшение водно-теплового режима земляного полотна и снижение колееобразования.

В Российской Федерации существует технология стабилизации и технология укрепления грунтов. В первом случае, в грунт вводятся добавки или небольшое количество вяжущего (до 2 % от массы грунта) для придания грунтам улучшенных

водно-физических свойств – гидрофобности, пониженной оптимальной влажности, повышенной максимальной плотности и т.д. Во втором случае, в грунт вводится большее количество вяжущего, с добавками или без них, для создания дорожно-строительного материала с регламентируемыми нормативной литературой физико-механическими свойствами – цементогрунта. За рубежом также существует аналогичное деление, однако вместо «укрепление» применяется термин «стабилизация» вне зависимости от преследуемых целей. При этом грунт, стабилизированный большим количеством цемента, также называется «цементогрунтом», а грунты с малым содержанием цемента, не придающего требуемой прочности – «цементомодифицированным материалом».

Известно, что при укреплении грунтов цемент выступает как структурообразователь и является основным компонентом смеси, обеспечивающим создание кристаллизационной структуры жесткого каркаса укрепляемого грунта. При формировании этой структуры происходит коренное, качественное изменение природных свойств грунта. Однако, наличие глинисто-коллоидной фракции вызывает трудности при обработке грунтов вяжущими, так как присутствие указанных частиц является носителем коагуляционных связей, что требует больших дозировок вяжущих для изменения строительно-технических свойств грунтов. Наличие коагуляционных контактов придает структуре большую эластичность, но меньшую механическую прочность [1, 2]. Грунты с высоким содержанием глинистых частиц тяжело поддаются укреплению из-за склонности к комкообразованию [3, 4]. Введение в грунт цемента приводит к значительному уменьшению количества макропор за счет заполнения продуктами гидратации пространства между грунтовыми агрегатами, что в свою очередь приводит к уменьшению проницаемости материала [5]. В ряде работ отмечено, что повышение качества цементогрунтов может быть достигнуто путем введения в грунт, помимо вяжущего, различных гранулометрических добавок. Регулированием гранулометрического состава, т.е. количества пылевато-глинистых и песчаных частиц, возможно, целенаправленно изменять строительно-технические характеристики укрепленных грунтов, применяемых для строительства автомобильных дорог.

Одни из первых в России опытов по укреплению грунтов цементом проведены в Ленинграде в начале XX века. Первый нормативный документ по укреплению грунтов разработан на основе многолетних исследований В.М. Безрука. С середины XX века разрабатывались новые комплексные методы укрепления грунтов, предусматривающие модификацию цементогрунтов различными добавками [1, 6, 7]. Помимо этого, ранее учеными велись исследования по улучшению и укреплению грунтов отходами промышленности и различными веществами, которые в дальнейшем нашли более широкое применение при комплексном укреплении грунтов [8].

За рубежом использование цементогрунтов началось также в первой половине XX века. В США из цементогрунтов строились просёлочные дороги. В середине XX века методы укрепления грунтов получили распространение и в европейских странах.

В работах Department for International Development (Великобритания) и Department of Public Works and Highways (Филиппины) описана область возможного применения цементогрунтов в конструкциях дорожных одежд. Так, рекомендованная минимальная прочность составляет 2,5 МПа, а для замены подстилающего слоя требуется достижение прочности не менее 4,0 МПа [9]. Отмечено, что из всех вяжущих для укрепления наиболее целесообразным является использование портландцемента, а различные добавки и отходы промышленности следует применять для сокращения расхода вяжущего и улучшения свойств цементогрунта. При этом каждый дополнительный 1 % цемента будет обеспечивать повышение прочности на 0,5-1,0 МПа. Долговечность цементогрунта предлагается характеризовать прочностью после водонасыщения и морозостойкостью.

В AASHTO для укрепления глинистых грунтов рекомендуется расход 7-10 % цемента от массы грунта, ASTM D558 – 10-13 %, ASTM D559 и D560 – 8-15 %. При этом для глинистых грунтов прочность в 28-суточном возрасте в водонасыщенном состоянии должна быть не менее 1,72-4,14 МПа. В ГОСТ 23558 минимальная прочность цементогрунта составляет не менее 1,0 МПа для дополнительных слоев основания, и не менее 4,0 МПа для несущих слоев основания и покрытий. Согласно «Руководству по подбору и приготовлению нерудных материалов и грунтов, обработанных

неорганическими вяжущими, для дорожного строительства», при использовании глинистых грунтов ориентировочный расход рекомендуется от 4-7 % для нижнего слоя основания и 8-12 % для верхнего слоя основания или покрытия.

Известно, что условия твердения цемента в смеси с грунтом отличаются от условий твердения в бетоне с чистыми минеральными заполнителями, т.к. выделяющиеся при гидратации цемента ионы кальция активно поглощаются частицами грунта [1]. Основные минералы грунта проявляют максимальную адсорбционную способность в первые 4-8 суток. Глинистые минералы и пылеватые частицы из основных минеральных образований (полевые шпаты, кварц, кальцит) активно адсорбируют гидроксид кальция в первые 5 суток твердения, после чего процесс плавно затухает [10].

На рисунке представлена зависимость прочности цементогрунта от содержания цемента и гранулометрического состава грунта по данным American Concrete Institute. Нижний график соответствует прочности цементогрунта с мелкими частицами (глинистый грунт), верхние – цементогрунта с большими размерами частиц (песчаные, скальные). При этом из графика видно, что прочность материала на глинистом грунте соответствует закономерности  $I_c = 40 \cdot C$  ( $I_c$  – прочность на сжатие,  $C$  – содержание цемента).

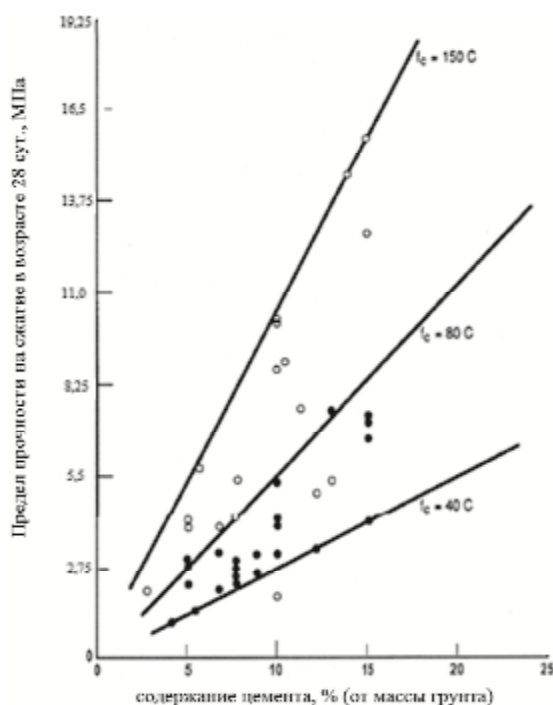


Рис. Зависимость прочности цементогрунта от содержания цемента и гранулометрического состава грунта

Анализ рисунка показывает линейный характер изменения прочности цементогрунта от содержания цемента. Наибольший прирост прочности материала в 28-суточном возрасте достигается при увеличении дозировки цемента и увеличении крупности заполнителя. В глинистых грунтах наблюдается меньшая зависимость прочности от расхода цемента в сравнении с песчаными и скальными. Следовательно, при укреплении глинистых разновидностей грунтов для достижения высоких показателей по прочности требуется модификация смесей с помощью различных химических добавок.

Также на строительно-технические характеристики цементогрунта значительное влияние оказывают технологические факторы. М.С. Abrams, Е.Ж. Felt, В.М. Безрук, В.М. Могилевич выделили расход цемента, продолжительность технологического процесса, физический и химический состав грунта, количество воды, достигаемая плотность и возраст материала в качестве основных технологических факторов. Исследованиям физического и химического состава грунтов посвящены работы М.Д. Catton, М.С. Abrams, Н.Ф. Winterkorn, Е.Ж. Felt, Р.Е. Fohrman, Н.Ж. Gibbs, Л.Д. Hicks, У.С. Housel, В.В. Охотина,

В.М. Безрука. Особенности процесса измельчения грунтов, отрицательное влияние увеличения грунтовых агрегатов на физико-механические свойства цементогрунта рассмотрены В.Б. Пермяковым, В.П. Никитиным, Е.И. Путилиным, В.Н. Шестаковым. Зависимость между количеством цемента и прочностью на сжатие изучали E.J. Felt, M.D. Catton, M.S. Abrams, В.М. Безрук. Достаточность оптимальной влажности цементогрунта для гидратации цемента определена в работах D.T. Davidson, E.J. Felt, M.D. Catton, G.R. Lightsey. Отрицательное влияние увеличения периода времени до уплотнения на строительно-технические характеристики цементогрунта доказано E.J. Felt, F. Saifan, A. Arman, O.B. Тюменцевой, В.Б. Пермяковым. Возможность увеличения прочности при повышении плотности подтверждено C.W. Lovell, E.J. Felt, A.M. Osborne, В.П. Никитиным, В.М. Могилевичем, В.Б. Пермяковым, O.B. Тюменцевой, P.П. Щербаковым.

Укрепленные цементом грунты допускается применять для устройства покрытий со слоем износа или оснований дорожных одежд. При этом под действием подвижной нагрузки в цементогрунтовом слое возникают напряжения сжатия и растяжения при изгибе, которые по величине меньше соответствующих пределов сопротивления цементогрунта и, следовательно, не могут быть основной причиной его разрушения [6]. На цементогрунт в дорожной одежде, кроме подвижной нагрузки, воздействуют также климатические факторы. Введение менее 10 % портландцемента в состав грунта не обеспечивает материалу требуемую длительную стойкость от воздействия природно-климатических факторов [11].

Под агрессивным воздействием внешней среды структура и свойства цементогрунта изменяются, в результате снижается его прочность и изготовленные из него конструкции разрушаются. Повысить стойкость цементогрунта к агрессивным средам можно введением в его состав различных добавок.

Наибольшее отрицательное влияние оказывают периодические изменения температуры и вызываемое ими изменение фазового состояния воды [1, 12, 13, 14]. Многократные переменные замораживания и оттаивания цементогрунта в водонасыщенном состоянии увеличивают число внутренних трещин, углубляют и расширяют их. При этом происходит накопление остаточных деформаций, постепенно разуплотняется монолитная структура цементогрунта и его прочностные свойства снижаются [6].

Таким образом, цементогрунт является одним из эффективных и экономичных материалов применяемых для строительства автомобильных дорог. Однако, как показали исследования, грунт даже при обработке его портландцементом, значительно теряет свою прочность уже на первых циклах замораживания-оттаивания. Для повышения строительно-технологических характеристик цементогрунта, а также более активного его применения в дорожном строительстве, перспективно проведение дальнейших исследований в области модификации материала различными добавками.

### Список библиографических ссылок

1. Безрук В.М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. – М.: Транспорт, 1971. – 247 с.
2. Кострико М.Т. Вопросы гидрофобизации грунтов. – Л.: ВАТТ, 1957 – 91 с.
3. Bone B.D. Review of scientific literature on the use of stabilisation/solidification for the treatment of contaminated soil, solid waste and sludges. – UK: Environment Agency, 2004. – 343 p.
4. Soil Stabilization for Pavements. – USA: Joint Departments of the Army and Air Force USA, 1994. – P. 2-1.
5. Sasanian S. The behavior of cement stabilized clay at high water contents // A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. – Ontario: The School of Graduate and Postdoctoral Studies The University of Western Ontario. – London, 2011. – 82 p.
6. Могилевич В.М., Щербакова P.П., Тюменцева O.B. Дорожные одежды из цементогрунта. – М.: Транспорт, 1972. – 215 с.

7. Славущий А.К. Автомобильные дороги: Одежды из местных материалов. – М.: Транспорт, 1987. – 255 с.
8. Марков Л.А. и др. Улучшение свойств грунтов поверхностно-активными и структурообразующими веществами. – М.: Автотрансиздат, 1963. – 176 с.
9. Croney D., Croney P. The Design and Performance of Road Pavements. 3rd Edition. – USA: McGraw-Hill, 1997. – 528 p.
10. Фоменко Е.А. Ольгинский А.Г. Определяющая роль процессов контактообразования в формировании свойств укрепленных грунтов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, 2006, № 34-35. – С. 43-45.
11. Cecilioacosta V. Durabilidad de ladrillos prensados de suelo-cemento // Materiales de construccion, 2001, № 262. – P. 15-21.
12. Шейнин А.М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий. – М.: Транспорт, 1991. – 151 с.
13. Laguros J.G. Davidson D.T. Effect of Chemicals on Soil-Cement Stabilization // Highway Research Record, 1963, № 36. – P. 172-203.
14. Власов О.Е. Долговечность ограждающих конструкций (физические основы). – М.: Стройиздат, 1963. – 115 с.

**Bulanov P.E.** – assistant

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

**Asanbaev R.B.** – student

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

**Khairullin I.I.** – student

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

**Valeeva G.R.** – student

E-mail: [m.a.d\\_d.o.g@bk.ru](mailto:m.a.d_d.o.g@bk.ru)

**Repenko D.A.** – student

**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)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### **General information on the use and application of road building materials on the basis of soil and Portland cement**

#### **Resume**

The development of effective materials for the structural layers of pavements based on local strengthened soils by using of different binders and additives is one of the promising areas of road construction research. Strengthened soil-cements are used as the blanket with a wear layer or base of the road pavement. The analysis of domestic and foreign literature in the field of production and application of road building materials based on a soil and Portland cement is shown in the article. Possibilities of production and application of soil-cement, and the influence of technological factors on the quality characteristics of the resulting material are described. It is determined that the rotating of freezing and thawing processes have the most devastating effect on soil-cement layers of road structures. The modification of the soil-cement by various additives can improve the frost resistance and strength properties and will promote to the more active application of its in road construction.

**Keywords:** soil, soil-cement, strength, frost resistance, technological factors.

**Reference list**

1. Bezruk V.M. Strengthening of soils in road and airfield construction. – M.: Transport, 1971. – 247 p.
2. Kostriko M.T. Issues of water repellent soils. – L.: VATT, 1957. – 91 p.
3. Bone B.D. Review of scientific literature on the use of stabilisation/solidification for the treatment of contaminated soil, solid waste and sludges. UK: Environment Agency, 2004. – 343 p.
4. Soil Stabilization for Pavements. USA: Joint Departments of the Army and Air Force USA, 1994. – P. 2-1.
5. Sasanian S. The behavior of cement stabilized clay at high water contents // A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. – Ontario: The School of Graduate and Postdoctoral Studies The University of Western Ontario. – London: 2011. – 82 p.
6. Mogilevich V.M., Scherbakova R.P., Tyumentseva O.V. Pavement of soil-cement. – M.: Transport, 1972. – 215 p.
7. Slavutsky A.K. Roads: Clothing of local materials. – M.: Transport, 1987. – 255 p.
8. Markov L.A. and oth. Improvement of soil properties of surface-active and structure-forming substances. – M.: Avtotransizdat, 1963. – 176 p.
9. Croney D., Croney P. The Design and Performance of Road Pavements. 3rd Edition. – USA: McGraw-Hill, 1997. – 528 p.
10. Fomenko E.A., Olginsky A.G. The determining role of the processes of formation of contacts in the formation of the properties of reinforced soils // Vestnik Kharkovskogo natsyonalnogo avtomobilno-dorojnogo universiteta, 2006, № 34-35. – P. 43-45.
11. Cecilioacosta V. Durabilidad de ladrillos prensados de suelo-cemento // Materiales de construccion, 2001, № 262. – P. 15-21.
12. Sheynin A.M. Cement concrete for road and airfield pavements. – M.: Transport, 1991. – 151 p.
13. Laguros J.G. Davidson D.T. Effect of Chemicals on Soil-Cement Stabilization // Highway Research Record, 1963, № 36. – P. 172-203.
14. Vlasov O.E. Durability of building envelopes (the physical basis). – M.: Stroyizdat, 1963. – 115 p.