

АНАЛИЗ ОБЛАСТИ ПРИМИНЕНИЯ ГРУНТОЦЕМЕНТА В ГЕОТЕХНИКЕ

Киричек Ю.О., Комиссаров Г.В.

Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры
г. Днепропетровск, Украина

АННОТАЦІЯ: Проаналізовано область використання ґрунтоцементу в геотехніці для вирішення різних інженерних проблем, конструктивні рішення, методи улаштування. Розглянуто конструктивні рішення застосування ґрунтоцементних конструкцій з більш низьким вмістом цементу у структурно-нестійких ґрунтах.

АННОТАЦИЯ: Выполнен анализ области использования ґрунтоцемента в геотехнике для решения различных инженерных задач, конструктивные решения, методы устройства. Рассмотрены конструктивные решения применения ґрунтоцементных конструкций с более низким содержанием цемента в структурно-неустойчивых ґрунтах.

ABSTRACT: The area of the soil-cement use was studied for various problems in foundation design and installing methods. The soil-cement construction with lower cement content was considered in soft soil.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ґрунтоцементные элементы, закрепление ґрунтов, буросмесительная цементация, струйная цементация, струйно-смесительная цементация, характеристики ґрунтоцемента.

ВВЕДЕНИЕ

Большая часть территории Украины сложена слабыми, структурно-неустойчивыми ґрунтами, лессовыми просадочными суглинками и супесями, строительство на которых без предварительных мероприятий направленных на улучшения их свойств не допускается [1]. Одним из видов усиления ґрунтов является закрепление различными вяжущими составами, такими как силикатизация, битумизация, смолизация,

цементация. Смешивание грунтов с цементом, известью, гипсом, шлаками и с вводом различных добавок позволяет получить довольно прочный и экологически чистый материал грунтоцемент, который можно использовать как для подготовки основания под фундаменты, так и для строительства фундаментов, а также при решении различных геотехнических задач.

В последние годы с целью ресурсосбережения благодаря развитию новых методов устройства грунтоцементные конструкции все более широко используются в фундаментостроении: устройство набивных свай буросмесительным методом, струйной цементацией, струйно-смесительной цементацией, устройство подпорных стен котлованов и грунтоцементных анкеров. Ограждающие конструкции проектируют на действие горизонтальной нагрузки от давления грунта и подземных вод, а также при необходимости на вертикально приложенную к поверхности грунта нагрузку вблизи ограждения. К ограждающим конструкциям предъявляются особые требования по прочности грунтоцементных элементов и герметичности их стыков [2,3]. Устройство ленточных и свайных фундаментов из грунтоцемента рекомендуется для зданий не более 3-х этажей с несущими стенами III класса ответственности, а также для зданий II класса ответственности высотой до двух этажей включительно. Строительство ленточных грунтоцементных фундаментов запрещено в сейсмических и карстовых районах, а также на подрабатываемых территориях, вечномерзлых и не оттаявших после сезонного промерзания грунтах, заторфованных, сильнопучинистых и просадочных грунтах II типа [4, 5]. Имеет перспективу устройство фундаментов из грунтоцемента типа “стена в грунте”.

По конструктивным особенностям применяемые грунтоцементные противофильтрационные завесы могут быть вертикальными и горизонтальными. Толщина противофильтрационных завес находится в диапазоне 0,5...2 м и зависит от фильтрационной способности, прочности грунтоцемента, градиента напора [2]. К противофильтрационным завесам предъявляют особые требования по обеспечению низкого коэффициента фильтрации и устойчивости к агрессивности подземных вод. Грунтоцемент применяют при устройстве буровых шламовых амбаров, искусственных водоемов, бассейнов, резервуаров, фонтанов. Исследования асп. Тимофеевой К.А. грунтоцементных образцов в среде наиболее агрессивных составляющих буровых шламов показали устойчивость грунтоцемента к их воздействиям и целесообразность использования [6]. Возможно укрепление откосов и склонов, улучшение строительных свойств торфяных, лессовых грунтов, слабых грунтов ($E < 5 \text{ МПа}$) [7], армирование основания. Как правило, усиление фундаментов выполняется вертикальными либо наклонными армирующими элементами. Это обусловлено техническими

характеристиками применяемой строительной техники, а также проектными требованиями при этом усиление грунтовой толщи проводится на достаточно большую глубину. Но в случаях реконструкции зданий и сооружений, дополнительной надстройки, стесненных условиях либо предупреждения развития активных деформаций целесообразно закреплять грунт на незначительной глубине непосредственно под фундаментом в зоне активных деформаций основания [8].

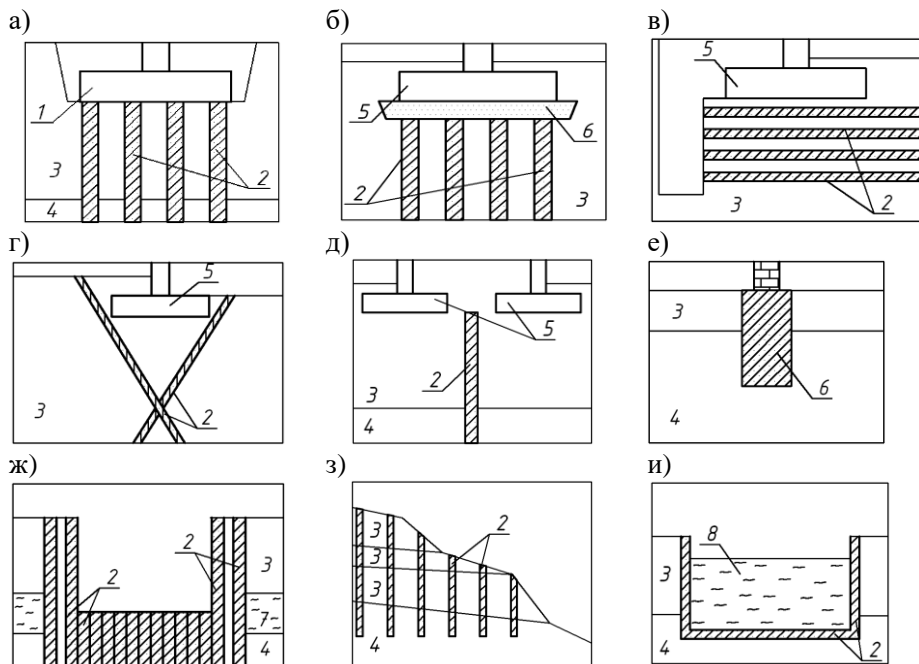


Рис. 1. Использование грунтоцемента в геотехнике: а) – свайные фундаменты; усиление существующих фундаментов: б) – вертикальными ГЦЭ, в) – горизонтальными ГЦЭ, г) – наклонными ГЦЭ; д) – устройство разделительных экранов; е) – устройство фундаментов малого заложения под малоэтажные здания; ж) – усиление откосов котлована и защита от грунтовых вод; з) – закрепление неустойчивых откосов и склонов; и) – устройство резервуаров; 1- ростверк; 2 - грунтоцементные элементы; 3 - слабый грунт; 4 – прочный грунт; 5 – фундамент; 6 – ленточный фундамент из грунтоцемента; 7 – водонасыщенный грунт; 8 – жидкость резервуаров

Используется грунтоцемент также для устройства разделительных экранов для защиты фундаментов сооружений от влияния нового строительства, закрепления массива грунта от разжижения при сейсмических нагрузках и устройства земляного полотна автодорог и железнодорожных насыпей.

Закрепление грунтов грунтоцементными элементами возможно различными конструктивными решениями: устройство отдельно расположенных грунтоцементных свай цилиндрического сечения, устройство панелей, сеток, блоков из отдельно расположенных свай, секущих свай или сплошных элементов, которые устраиваются “режуще-смешивающим” методом [9 - 11].

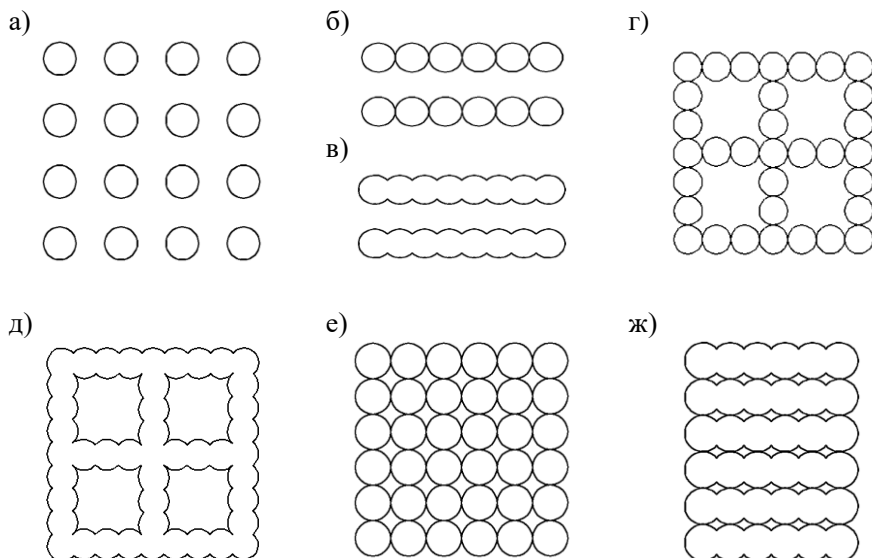


Рис.2. Конструктивные решения закрепления грунтов грунтоцементными элементами: а) – отдельно расположенные ГЦЭ; б), в) – панели из ГЦЭ; г), д) – сетки из ГЦЭ; е), ж) – блоки из ГЦЭ

Широко применяются три метода закрепления грунта цементом: буросмесительный метод, струйная цементация, струйно-смесительная цементация. Наиболее распространенный в нашей стране является буросмесительный метод, благодаря простоте механизмов для его реализации. Суть этого метода заключается в механической разработке и перемешивании грунта с вяжущим, которое подается в виде раствора. Перемешивание грунта с вяжущим, как правило, происходит в рабочей скважине

(без выемки грунта), но также может выполняться с частичной выемкой грунта или в специальных бункерах – смесителях. Преимуществом данного метода является экономия вяжущего, постоянное сечение грунтоцементного элемента в соответствии с диаметром рабочего шнека. Недостаток – в гравелистых грунтах необходимо громоздкое оборудование с большими крутящими моментами [9 - 12].

Метод струйной цементации делится на три вида: однокомпонентная цементация (Jet 1), двухкомпонентная цементация (Jet 2), трехкомпонентная технология (Jet 3). В методе однокомпонентной цементации (Jet 1) разработка грунта происходит за счет энергии струи цементного раствора. Рабочим инструментом для образования грунтоцементных элементов является струйный монитор, из форсунок которого выходит струя цементного раствора под давлением до 70 МПа. Высоконапорная струя цементного раствора может резать практически любой грунт. Диаметр грунтоцементных элементов 350...700 мм. Для увеличения радиуса резания грунта и разрушающего действия в двухкомпонентной цементации (Jet 2) дополнительно используется энергия сжатого воздуха. Струйный монитор оборудован двумя форсунками одна, из которых служит для подачи цементного раствора, а вторая для подачи сжатого воздуха под давлением 0,6...1,2 МПа. Прочность и плотность грунтоцементных элементов в сравнении с однокомпонентной технологией снижается, диаметр достигает – 1500 мм. В трехкомпонентном методе (Jet 3) струйный монитор оборудован тремя форсунками, которые служат для раздельной подачи вяжущего, воды и воздуха. Разрушение грунта производится высоконапорной струей воды под давлением 20...30 МПа и воздушным потоком, а цементный раствор подается отдельной струей. Диаметр грунтоцементных элементов 1300...2500 мм [2, 10]. Преимущество данного метода производительность и возможность использования практически в любых грунтах. Недостаток – высокий расход цемента.

Струйно-смесительная цементация является комбинированным методом струйной и бурсмесительной цементации. В данном методе одновременно используется механическая и гидромониторная разработка грунта, что в свою очередь приводит к достижению большей однородности смеси и увеличению диаметра грунтоцементного элемента. Преимущество метода – возможность использования в любых грунтовых условиях; универсальность, при уменьшении давления струи гидромонитора метод работает как бурсмесительный [10].

Для устройства ограждающих конструкций и фундамента «стена в грунте» был разработан режуще-смешивающий метод. Рабочими органами служат режущие кольца либо цепная фреза, которые вертикально вращаются относительно горизонтальной оси. При использовании данного

метода устраивают непрерывные грунтоцементные панели толщиной равной толщине рабочих органов.

Принципиальное отличие имеет место объемное закрепление, когда обработке поддается весь массив грунта. Объемное закрепление грунта “Mass Stabilization” является относительно новым методом улучшения строительных свойств слабых грунтов, который может выполняться на глубину 5...7 м, захватками 10...25 м². Диаметр рабочего инструмента составляет 0,6...0,8 м. В данном методе вяжущее преимущественно используется в виде сухих порошковых смесей, но также может использоваться в виде раствора и может состоять из одного компонента известь, цемент, шлак или их комбинации. Процесс перемешивания отличается от других методов тем, что вяжущий материал подается в область смешивания, в то время как миксер вращается и одновременно перемещается по вертикали и по горизонтали, чтобы обеспечить оптимальное перемешивание грунта [2, 11].

Распространенные конструктивные решения использования грунтоцемента в слабых структурно-неустойчивых грунтах (просадочные грунты I типа просадочности, насыпные, заторфованные, текучие пылевато-глинистые грунты) сводятся к изготовлению грунтоцементных элементов цилиндрического сечения – свай, как правило, с большим содержанием цемента.

Цель исследования - рассмотреть конструктивные решения применения грунтоцементных конструкций с более низким содержанием цемента, в текучих пылевато-глинистых и просадочных грунтах I типа просадочности.

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Изготовление свай цилиндрического сечения и секущих свай в решении различных инженерных задач обусловлено использованием механизмов и оборудования, распространенных в нашей стране. Использование метода объемного закрепления грунта “Mass Stabilization” и механизмов оборудованных режуще-смешивающими рабочими органами – методы “Cutter Soil Mixing”, “Cut-Mix-Injection” в просадочных грунтах I типа, а также при наличии небольшой мощности слоя слабых насыпных либо структурно-неустойчивых грунтов дает возможность получить конструкции фундамента и основания с меньшим содержанием цемента.

При устройстве щелевого фундамента типа «стена в грунте» основными характеристиками грунтоцемента являются призматическая прочность R_n (МПа), E_0 – модуль деформации (МПа), в водонасыщенных грунтах нужно учитывать возможность воздействия отрицательного тре-

ния по боковым граням, что в свою очередь приводит к дополни-тельному нагружению, а также коэффициент размягчения грунтоцемента K_{sof} . Проведенные теоретические исследования показали, что требуемая прочность грунтоцементной конструкции находится в пределах 0,8...2,6 МПа.

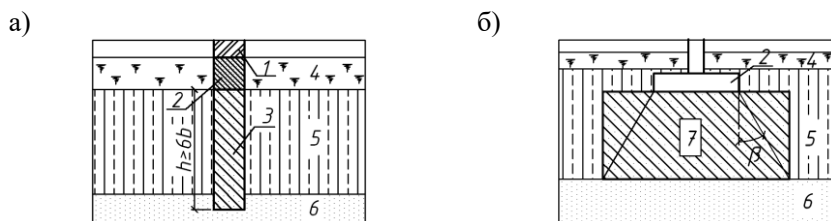


Рис.3. Конструктивные решения использования грунтоцементных конструкций в слабых структурно неустойчивых грунтах:

- а) – устройство целевого фундамента типа «стена в грунте»;
 б) – закрепление массива грунта; 1 – конструкция цоколя здания;
 2 – конструкция фундамента; 3 – фундамент «стена в грунте»
 из грунтоцемента; 4 – почвенно-растительный слой; 5 – слабый
 структурно-неустойчивый грунт; 6 – прочный грунт;
 7 – грунтоцементное основание.*

С уменьшением количества цемента в смеси уменьшается количество кристаллизационных связей в грунтоцементе и повышается его деформируемость и трещиностойкость. При устройстве искусственного грунтоцементного основания главными критериями являются достаточная прочность и равномерная сжимаемость по всей площади основания. Возможность послойно изменять количество цемента в составе грунтоцементного основания от подошвы до поверхности дает возможность варьировать параметрами основания, и добиться большей экономии цемента. Проведенные теоретические исследования показали, что расход цемента на 1 м^3 обрабатываемого грунта находится в диапазоне 40...125 кг. Основными характеристиками грунтоцемента являются: плотность грунтоцемента ρ (кН/м^3); E – модуль деформации (МПа); ϕ – угол внутреннего трения (град.); c – удельное сцепление (кПа).

ВЫВОДЫ

Применение более широкого спектра механизмов и оборудования при изготовлении грунтоцементных элементов дает возможность использовать новые конструктивные схемы с меньшим расходом цемента в строительстве фундаментов. При уменьшении количества цемента повы-

шается деформируемость и трещиностойкость грунтоцемента, в результате он уже не может рассматриваться в качестве элемента конструкции фундамента, но может эффективно использоваться в качестве искусственного основания фундаментов зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будинки і споруди на підроблювальних територіях і просідаючих ґрунтах. Частина 2: ДБН В.1.1-5-2000. – [Чинні від 2000-07-01]. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 87с. – (Будівельні норми України).
2. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения: / под общ. ред. академика РААСН, В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: АСВ, 2014. – 728 с.
3. Маковецкий О.О. Проектирование ограждений котлованов из буросекущих грунтоцементных элементов / Маковецкий О.О., Миллер К.А., Галимов В.В. // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип.3(38). Т2. – С. 228-233.
4. Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из грунтоцемента для опытного строительства малоэтажных сельских зданий: рекомендации / [разраб. под руков. Б.А. Ржаницын] – М.: НИИОСП им. Герсеванова 1983. – 41 с.
5. Временные рекомендации по технологии строительства цементогрунтовых ленточных фундаментов с применением шнекофрезерных грунтосмесительных машин: рекомендации / [разраб. под руков. А.Н. Токина] – К.: НИИСП, 1981. – 47 с.
6. Тимофеева К.А. Лабораторные исследования воздействия влияния агрессивных составляющих бурового шлама на физико-механические характеристики грунтоцемента / Тимофеева К.А. // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – Вип. 1(40) –С. 259-267.
7. Винников Ю.Л. Будівельні властивості грунтоцементу за наявності у його складі органічних речовин / Ю.Л. Винников, О.И. Ярмолюк // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – Вып. 56. – С.97-103.
8. Нечаев К.В. Горизонтальное армирование грунтов в основании здания корпуса неотложной хирургии железнодорожной больницы г. Донецка при

- ее реконструкции / К.В. Нечаев, А.О. Исмагилов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2013. – Вып. 141. - С. 205-211.
9. Крысан В.И. Практика закрепления грунтов по струйно-смесительной технологии. / В.И. Крысан, В.В. Крысан // Геотехника Беларуси: наука и техника: межд. научно-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 171-177.
 10. Новицкий О.П. Методи закріплення ґрунтів цементом / Новицький О.П. // Вісник Донецької національної академії будівництва і архітектури. Серія: будівлі та конструкції із застосуванням нових матеріалів та технологій. – Полтава: ДНАБіА, 2013. – Вип. 3(101). – С. 32-37.
 11. Deep Soil Mixing (DSM). Improvement of weak soils by the DSM method [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kellerholding.com>.
 12. Контроль за якістю ґрунтоцементних елементів, які виготовлені за бурозмішувальною технологією / Н.Л. Зоценко, Р.В. Петраш, О.В. Петраш // Строительство, материаловедение, машиностроение: сборн. научн. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – Вып. 56. –С. 188-193.

REFERENCES

1. DBN В.1.1-5-2000. Chastyna 2. «Budynky i sporudy na pidroblyu val'nykh terytoriyakh i prosidayuchykh gruntakh». –К: Derzhavnyy komitet budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoyi polityky Ukrainy, 2000 – 47s.
2. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya: / Pod obshch. red. akademika RAASN, V.A. Ilcheva, i R.A. Mangusheva. – М.: Izdatstvo ASV, 2014. – 728s.
3. O.O. Makovetskiy, K.A., Miller, V.V. Galimov. Proektirovanie ogradzheniy kotlovanov iz buresekushchih gruntotsementnyh elementov. Zbirnyk naukovykh prats' Poltavsk'oho natsional'noho tekhnichnoho universytetu imeni Yuriya Kondratyuka. Seriya: haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo. – Poltava: PoltNTU, 2013. – Вып.3(38). Т2. –С. 228-233.
4. Rekomendatsii po proektirovaniyu i ustroystvu fundamentov iz gruntotsementa dlya opytnogo stroitelstva maloetazhnykh selskikh zdaniy: rekomendatsii / [razrab. pod rukov. B.A. Rzhantsyn] – М.: NIIOSP im. Gersevanova 1983. – 41s.
5. Vremennyye rekomendatsii po tekhologii stroitelstva tsementogruntovykh lentochnykh fundamentov s primeneniem shnekofreznykh gruntosmesitelnykh mashin: rekomendatsii / [razrab. pod rukov. A.N. Tokin] – К.: NIISP, 1981. – 47s.
6. Timofeeva K.A. Laboratornyye issledovaniya vozdeystviya vliyaniya agressivnykh sostavlyayushchih burovogo shlama na fiziko-mekhanicheskie harakteristiki gruntotsementa. Zbirnyk naukovykh prats Poltavskogo natsionalnogo tekhnichnoho universitetu imeni Yuriya Kondratyuka. Seriya: galuzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo. – Poltava: PoltNTU, 2014. – Vip.1(40) –С. 259-267.
7. Vinnikov Yu.L. / Budivel'ni vlastyosti gruntotsementu za nayavnosti u yoho skladi orhanichnykh rechovykh / Yu.L. Vynnykov, O.Y. Yarmolyuk/ Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. Seriya: Innovatsionnyye tekhnologi

- zhiznennogo tsikla obektov zhilishchno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznacheniya. – Dnepropetrovsk: PGASA, 2010.–Vyp.56. – S.97-103.
8. Nechaev K.V. Gorizontaalnoe armirovanie gruntov v osnovanii zdaniya korpusa neotlozhnoy hirurgii zheleznodorozhnoy bolnitsy g. Donetska pri ee rekonstruktsii / K.V. Nechaev, A.O. Ismagilov. Zbirnik naukovih prats UkrDAZT, 2013.– Vyp. 141- S. 205-211.
 9. O.P. Novyts'kyi. Metody zakriplennya hruntiv tsementom. Visnyk Donets'koyi Natsional'noyi Akademiyi Budivnytstva i Arkhitektury Seriya: budivli ta konstruktsiyi iz zastosovannam novykh materialiv ta tekhnolohiy. – Poltava: DNABiA, 2013. – Vyp.3(101) –S. 32-37.
 10. Krysan V.I. Praktika zakrepleniya gruntov po struyno-smesitelnoy tehnologii. / V.I. Krysan, V.V. Krysan // Geotekhnika Belarusi: nauka i tekhnika: mezhdunar. nauchno-tehnicheskaya konferentsiya. –M.: BNTU, 2013.–S. 171-177.
 11. Deep Soil Mixing (DSM). Improvement of weak soils by the DSM method [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kellerholding.com>.
 12. Kontrol' za yakistyu hruntotsementnykh elementiv, yaki vyhotovleni za burozmishuval'noyu tekhnolohiyeyu / N.L. Zotsenko, R.V. Petrash, O.V. Petrash // Sbornik nauchnyh trudov (stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie). – Dnepropetrovsk: PGASA, 2010. –Vyp.56. –S.188-193.

Статья поступила в редакцию 26.07.2016 г.