

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ГРУНТОБЕТОНА ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

**Митинский В.М.**, к.т.н., доцент,  
**Кучеренко А.А.**, д.т.н., профессор,  
**Сушицкая Т.А.**, инженер,  
*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
s.t.a\_osiot@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена методологии использования отходов добычи глинистых пород Одесского региона в виде суглинка для получения строительного материала с заданными свойствами. В качестве строительного материала принят грунтобетон. Его предназначение – крепление (закладка, «пломбирование») искусственных подземных горных выработок, природных пустот, разломов и т.п. Требования к грунтобетону – получить по прочности марки бетона 10-25. Требования к бетонной смеси: смесь к месту укладки и уплотнения подаётся бетононасосом по трубам и потому удобоукладываемость её должна быть соответствующей. Изучить свойства исходного сырья, выбрать вяжущее, наполнитель и подобрать состав грунтобетона для специальных условий эксплуатации. Подобрать экономически эффективный материал для заделки пустот. Решить проблему экологическую и утилизировать отход в производстве строительного материала. Ликвидировав поры и пустоты подземных горных выработок – обеспечить надёжность эксплуатации зданий и сооружений в регионе сейсмостойкости до 7 баллов.

**Ключевые слова:** горные выработки, отходы, суглинок, смеси, грунтобетон, состав, марка, свойства.

## ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ГРУНТОБЕТОНУ ДЛЯ ЗАПОВНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК

**Митинський В.М.**, к.т.н., доцент,  
**Кучеренко О.А.**, д.т.н., професор,  
**Сушицька Т.А.**, інженер,  
*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
s.t.a\_osiot@mail.ru

**Анотація.** Стаття присвячена методології використання відходів видобування глинистих порід Одеського регіону у вигляді суглинка для отримання будівельного матеріалу з заданими властивостями. В якості будівельного матеріалу прийнятий грунтобетон. Його призначення – кріплення (закладка «пломбування») штучних підземних гірничих виробок, природних порожнин, розломів і т. п. Вимоги до грунтобетону – отримати по міцності марки бетону 10-25. Вимоги до бетонної суміші: суміш до місця укладання і ущільнення подається бетононасосом по трубах і тому легкоукладальність її повинна бути відповідною. Вивчити властивості вихідної сировини, вибрати в'язучий, наповнювач і підібрати склад грунтобетона для спеціальних умов експлуатації. Підібрати економічно ефективний матеріал для закладення пустот. Вирішити екологічну проблему і утилізувати відхід у виробництві будівельного матеріалу. Ліквідувавши пори і порожнечі підземних гірничих виробок – забезпечити надійність експлуатації будівель і споруд в регіоні сейсмостійкості до 7 балів.

**Ключові слова:** гірські вироблення, відходи, суглинок, суміші, грунтобетон, склад, марка, властивості.

## OPTIMIZATION GROUND CONCRETE COMPOSITION FOR FILLING OF UNDERGROUND WORKINGS

Mitinskaya V.M., PhD., Assistant Professor,  
Kucherenko A., Doctor of Engineering, Professor,  
Suchecka T.A., engineer,  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture  
s.t.a\_osiot@mail.ru

**Abstract.** Construction of buildings and structures in Odessa region is complicated by the presence of large areas of soil subsidence and undermined territories of underground mine workings (catacombs). They generate a high probability of surface failures. Therefore, the elimination of the old underground workings, when increasing height of newly built residential buildings and loads on foundations, is a current goal. The goal is to use clay (waste production of clay rock) for making concrete and the laying of underground mining, clusters, voids, and fractures. To exclude the deformation of the surface, to provide normal operation of internal and external engineering networks with laying-out of worked-out areas. Eliminating the pores and voids of the underground mine workings is to ensure the operational reliability of buildings and structures in the region of seismic resistance up to 7 points. To ensure the durability of construction objects, located above the mine workings. Objectives of research: develop formulations and study the properties of backfill material for the elimination of excavations. Methods of lightweight concrete selection according to requirements of normative documents. Two basic requirements are presented: the workability of the concrete mix supplied the concrete pipe and concrete strength grades in the range of 15-25. The factors, determining the performance of mix and concrete, are studied: mobility, composition, water-cement ratio, the presence of the filler and the increase of concrete strength with time. The results of the studies: compositions of soil cement with mobility OK=12-14 cm on Strasznie cone, intended for transportation of concrete pumps pipes are selected. On their basis concrete in the range of grades M15-35 with a consumption on 1 m<sup>3</sup> of soil cement was obtained: loam 1m<sup>3</sup> (1000 kg) of Portland cement grade 400, in the range of 80-175 kg/C=3,5-6,0.

**Keywords:** mining, waste, clay, cement, mixture, composition, soil cement, brand, properties.

**Актуальность.** Возведение зданий и сооружений в Одесском регионе относится к разряду сложных, в каждом конкретном случае, требующих специального решения. И не только из-за наличия больших площадей просадочных грунтов, но и из-за громадных территорий подработанных подземными горными выработками (катакомбами). Они образовались при добыче пильного камня-ракушечника для застройки города, села и индивидуального строительства. Протяжённость пустот в черте города, по разным источникам, колеблется от 1 до 3 тыс. км. Выработки (высотой 2-4 м, глубиной 7-30 м) находятся на такой глубине [1], что вероятность провалов дневной поверхности весьма велика. Поэтому ликвидация старых подземных выработок, при возрастающей этажности вновь строящихся жилых домов и нагрузок на основания фундаментов, – задача актуальная.

**Цели.** Использовать отходы производства для приготовления бетона и закладки им подземных горных выработок (катакомб) карстов, пустот и, разломов [2]. Исключить деформации дневной поверхности, обеспечить нормальную эксплуатацию наружных и внутренних инженерных сетей закладкой выработанного пространства [3]. Обеспечить долговечность строительных объектов, расположенных над горными выработками [4]. Улучшить экологическую обстановку и минимизировать негативное влияние отходов на окружающую природную среду [5].

**Задачи исследований.** Учитывая вышеизложенное, а также физико-механические свойства пильного известняка-ракушечника и налегающей толщи пород, разработать составы и изучить свойства закладочного материала для ликвидации выработок.

**Методы исследований.** Подбор состава лёгкого бетона для крепления (закладки,

«пломбирования») искусственных подземных горных выработок, природных пустот, разломов и т.п. согласно требований нормативных документов [6]. Предъявляется два основных требования: к удобоукладываемости бетонной смеси и к прочности бетона. При этом необходимо учесть: бетонная смесь к месту укладки и уплотнения подаётся бетононасосом по трубам. Удобоукладываемость бетонной смеси – литая, саморастекающаяся, самоуплотняющаяся с осадкой конуса 15 см и более [7]. Марка бетона до М25 [8].

Исходное сырьё. В качестве отхода производства глинодобывающего карьера выбран суглинок. По числу пластичности и по показателю текучести – суглинок твердый. Средняя насыпная плотность суглинка – 1000 кг/м<sup>3</sup> (960-1044 кг/м<sup>3</sup>). Имеет слипшиеся сухие камнеподобные куски размером до 70 мм, трудно размокаемые при ручном смешивании с водой. При механическом смешивании разрыхляются, растворяются, распушиваются в воде затворения бетонной смеси. Не имеет каменных, не растворяющихся в воде, включений. Вручную смешанный с водой суглинок относительно быстро оседает на дно. При механическом смешивании с водой возникает однородное тесто (образцы №1-3). Уложенные в формы самоуплотняются, не расслаиваются и не отделяют воду.

Портландцемент ПЦ11/А –Ш-400 ООО «Цемент». Насыпная плотность – 1140 кг/м<sup>3</sup>. Удельная поверхность – 3000 см<sup>2</sup>/г. Разрешено применение в общестроительных работах [9].

Бетонная смесь отвечает требованиям ДСТУ БВ.2.7-18-95 «Бетоны лёгкие». Длительность перемешивания – до однородного состояния смеси 4-6 мин. За время укладки в формы и до распалубки водоотделение отсутствовало. В зависимости от применяемых материалов бетонная смесь относится к мелкозернистым, беспесчаным, на глинистом грунте (суглинке), т.е. грунтобетонные смеси. По степени удобоукладываемости смеси относятся к классу подвижных: литых, саморастекающихся и самоуплотняющихся.

Грунтобетон. Результаты испытаний [10] представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Составы бетона и свойства бетонной смеси

Серия №	Исходное сырьё		Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	Подвижность смеси, см	
	вид	расход, кг/м <sup>3</sup>		СтройЦНИЛ	цилиндр
1	Суглинок	1075	1720	12	-
	Цемент	215			
	Вода	430			
2	Суглинок	960	1590	>14	-
	Цемент	80			
	Вода	480			
3	Суглинок	1056	1780	12	-
	Цемент	132			
	Вода	528			

Расход суглинка, как самого дешёвого материала принят в количестве 1 м<sup>3</sup> по насыпной плотности на 1 м<sup>3</sup> грунтобетона. Межзерновые поры в суглинке заполняются водой затворения и зёрнами портландцемента. Расход цемента назначался в диапазоне 100-200 кг/м<sup>3</sup> грунтобетона по рекомендациям литературных источников [1-3] и с учётом необходимости получения марок грунтобетона до М25.

Плотность грунтобетонной смеси колеблется в пределах 1400-1720 кг/м<sup>3</sup>. Величина её, при постоянном расходе суглинка, определяется расходом цемента и воды. Чем их больше, тем выше плотность смеси и, в последующем, прочность бетона. При этом большее влияние оказывает расход цемента, чем вода. Плотность зависит также и от удобоукладываемости смеси: чем жёстче смесь (образцы 1-3, и 10), тем выше плотность (сравнительно с литыми, содержащими большее количество воды).

Прочность грунтобетона зависит от многих факторов, основные из которых: возраст бетона, расход цемента, водоцементное отношение, соотношение между цементом и

суглинком, что согласуется с работами [11].

Возраст бетона. Рост прочности грунтобетона в течение первых 28 суток представлен на рис. 1. Общие закономерности: независимо от расхода цемента прочность грунтобетона во времени увеличивается; чем выше расход цемента, тем интенсивнее набор прочности. Расход цемента. Влияние расхода цемента на прочность грунтобетона представлено на рис. 2. Расход  $C=100 \text{ кг/м}^3$ . Наименьшая интенсивность роста прочности: замедленно до 14 суток и несколько интенсивнее от 14 до 28 суток. В возрасте 28 суток  $R_{г6} = 16,4 \text{ кг/см}^2$ , т.е. марка грунтобетона М15. Такой бетон в возрасте 7 суток набирает 45% прочности, а в возрасте 14 суток – 51% от марочной.

Таблица 2 – Испытание свойств бетона

№№ п/п	Возраст, сут	Расход, $\text{кг/м}^3$		Ц:Суг:В=1 : x : y	Плотность бетона, $\text{кг/м}^3$	$R_{28}$ , $\text{кг/см}^2$	Марка бетона
		воды	цемента				
1	7	430	215	1 : 5 : 2	1800	12,8	50
	14					21	
	28					46,7	
2	7	480	80	1 : 12 : 6	1460	7,4	15
	14					8,3	
	28					16,4	
3	7	528	132	1 : 8 : 4	1610	8,3	25
	14					12,6	
	28					24,2	
13	7	416	100	Ц:Суг:Зола:В 1:10:0,33:4,16	1630	6,2	15
	14					10,4	
	28					15,2	
14	7	367	150	Ц:Суг:Зола:В 1:6,7:0,33:2,4	1610	8,0	15
	14					13,6	
	28					17,2	
15	7	333	200	Ц:Суг:Зола:В 1:5:0,33:1,66	1700	12,0	35
	14					20,8	
	28					37,7	

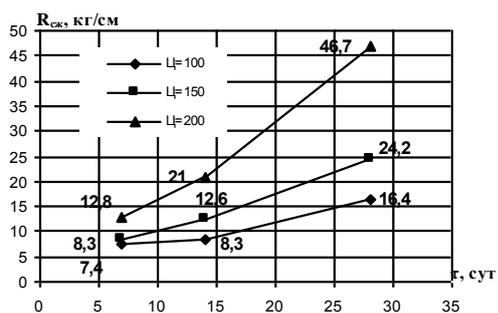


Рис. 1. Рост прочности грунтобетона во времени

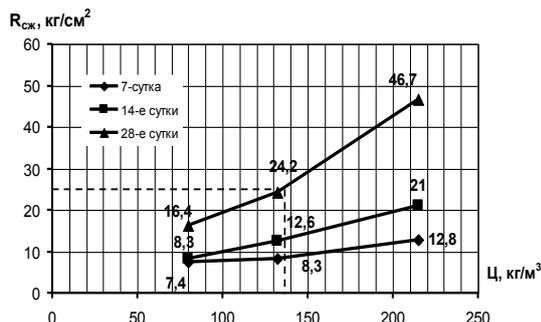


Рис. 2. Влияние расхода цемента на прочность грунтобетона

Расход  $C=150 \text{ кг/м}^3$ . Характер роста прочности аналогичен. В возрасте 28 суток  $R_{г6} = 24,2 \text{ кг/см}^2$ , т.е. марка грунтобетона М25. Набор прочности от марочной во времени составил: 34% через 7 суток и 52% – 14 суток.

Расход  $C=200 \text{ кг/м}^3$ . Более интенсивный и равномерный рост прочности в диапазоне от 14 до 28 суток. В возрасте 28 суток  $R_{г6} = 46,8 \text{ кг/см}^2$ , т.е. марка грунтобетона М50. Набор прочности от марочной составил: 27% через 7 суток и 47% – 14 суток.

Выводы. 1. Набор прочности грунтобетона от его марки во времени принят: 30% через 7 суток и 50% – 14 суток.

2. Достигнуты марки грунтобетона: М15 (образец №2 при  $\text{Ц}=80 \text{ кг/м}^3$ ), М25 (образец №3 при  $\text{Ц}=132 \text{ кг/м}^3$ ), М50 (образец №1 при  $\text{Ц}=215 \text{ кг/м}^3$ ).

Рассматривая рис. 2 по вертикали при конкретном возрасте бетона 7, 14 или 28 суток приходим к выводу о большей прочности грунтобетона там, где цемента больше, при остальных постоянных параметрах. Так в возрасте 28 суток прочность грунтобетона при расходе цемента  $215 \text{ кг/м}^3$  в 2,8 раза выше чем при  $\text{Ц}=80$  и в 1,9 раза при  $\text{Ц}=132 \text{ кг/м}^3$ .

Зависимость между маркой бетона и расходом цемента для её получения приведена на рис. 3.

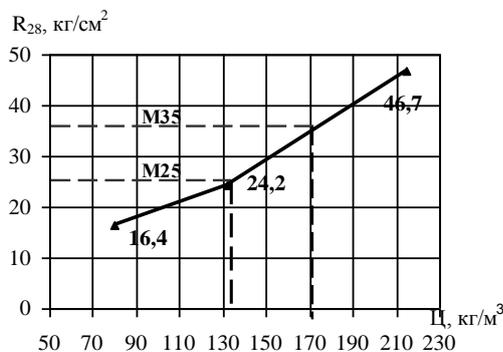


Рис. 3. Зависимость прочности грунтобетона от расхода цемента

Здесь рассматривается прочность бетона только в возрасте 28 суток. Повышение расхода цемента – путь к повышению прочности грунтобетона, но если экономически оправданный. Поэтому на кривой рис. 3 по интерполяции находим экономически выгодные расходы цемента для каждой марки бетона.

Вывод. Результаты серии опытов №1-3 позволили найти (пунктирные линии) зависимость между маркой грунтобетона ( $M_b$ ) и расходом цемента ( $\text{Ц}$ ,  $\text{кг/м}^3$ ):  $M15 \rightarrow \text{Ц}=80$ ;  $M25 \rightarrow \text{Ц}=140$ ;  $M35 \rightarrow \text{Ц}=175$ .

Удобоукладываемость грунтобетонной смеси изменяет прочность конечного продукта, о чём можно проследить по данным таблицы 2 по результатам подвижности смеси и по таблице 3 тех же образцов по результатам прочности грунтобетона. Там, где менее подвижная смесь при осадке конуса СтройЦНИЛа,  $\text{ОК}=12 \text{ см}$ , прочность грунтобетона в 1,5-2,8 раза больше, чем при  $\text{ОК}>14 \text{ см}$ .

Вывод. Стремление к малоподвижным смесям – путь к увеличению жёсткости смеси, прочности и долговечности грунтобетона.

Водоцементное отношение,  $\text{В/Ц}$ , рис. 4. В исследованиях  $\text{В/Ц}$  изменялось в пределах от 2 до 6, т.е.  $\text{В/Ц}=2-6$ . Чем выше  $\text{В/Ц}$ , т.е. чем больше воды при постоянном расходе цемента, тем ниже прочность грунтобетона. При приготовлении бетона, чем больше воды, тем подвижнее бетонная смесь и тем ниже прочность бетона. В последующем вода из бетона испаряется, пористость бетона повышается, а прочность бетона понижается.

Вывод. Стремление к меньшему  $\text{В/Ц}$  – путь к повышению прочности грунтобетона.

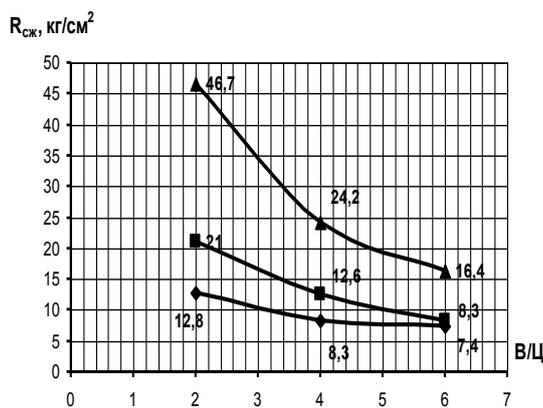


Рис. 4. Влияние  $\text{В/Ц}$  на прочность грунтобетона

Соотношение между цементом и суглинком, т.е.  $\text{Ц/Ц:Суг/Ц} = 1:\text{X}$  особенно при объёмном дозировании исходного сырья. В данных исследованиях опыты проведены с использованием объёмного дозирования. Однако сделан перерасчёт на весовое дозирование, с учётом чего рассматриваются результаты опытов, рис. 5.

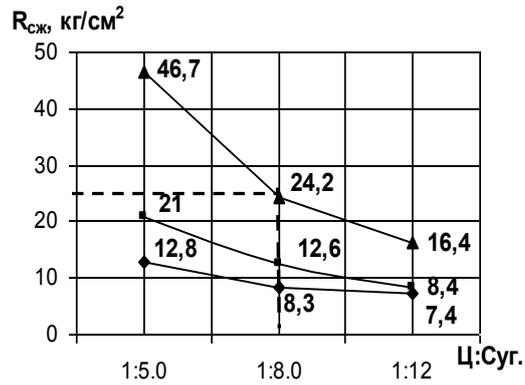


Рис. 5. Влияние соотношения между суглинком и цементом и прочность грунтобетона

Характер кривых свидетельствует о двух общих закономерностях в изменении прочности грунтобетона от принятых соотношений цемента к суглинку: 1). Незначительное влияние Ц:Суг в ранние сроки – до 14 суток. 2). Чем больше соотношение между цементом и суглинком, тем ниже прочность бетона в диапазоне расходов Ц=80-215 кг/м<sup>3</sup>. Знание этого даёт возможность подобрать нужное нам соотношение Ц:Суг для полученного нами диапазона марок бетона на примере М25 на рис. 5 (пунктирные линии).

Выводы. Каждой марке грунтобетона отвечает единственное соотношение Ц:Суг = 1:Х. Маркам М10→1:14; М15→1:12; М20→1:10; М25→1:8; М50→1:4,5.

Добавка наполнителя. В качестве наполнителя принята зола-унос, улавливаемая электрофильтрами Ладыжинской ТЭС. Количество её 33% от массы портландцемента М400. Зола тщательно смешивалась с цементом и вместе с водой затворения перемешивалась с суглинком.

Рост прочности не отличается от аналогичных бетонов без золы. Он более интенсивен при повышенном расходе цемента – 200 кг/м<sup>3</sup>.

Сравнительный вариант по прочности бетона в возрасте 28 суток с золой и без неё также свидетельствует о практически одинаковых результатах. Расход цемента, не меняет общей закономерности: чем больше цемента, тем выше прочность, что согласуется с данными [11].

Расход воды у грунтобетона с золой в корне отличен от аналогичного без золы: чем больше золы-унос, тем ниже водопотребность грунтобетона, рис. 7.

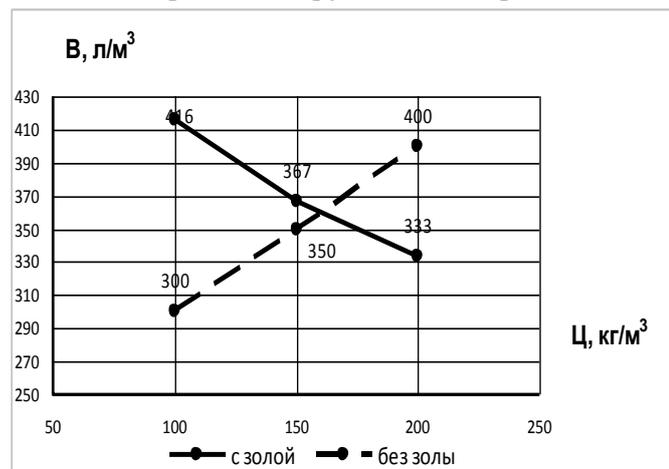


Рис. 7. Влияние золы-унос на расход воды

Зола пластифицирует грунтобетонную смесь. Поэтому чем её больше, тем подвижнее бетонная смесь или, при одинаковой подвижности, снижается расход воды. Это происходит потому что зёрна золы представляют из себя обожжённые округлые стеклянные сферы, снижающие силы трения твёрдых компонентов друг о друга. Это улучшит прохождение

грунтобетонной смеси по трубам.

Выводы. Зола ТЭС заметно изменяет свойства смеси и незначительно прочность грунтобетона. И если учесть транспортные расходы и дополнительные площади по её хранению, а также добавочное оборудование в технологической линии, то на данном этапе нет смысла в её применении. Однако опыты в таком объёме нельзя признать полезными, т.к. судя по литературным данным и по работе с нею заводов ЖБИ она приводит к экономии цемента.

#### **Выводы.**

1. Подобраны составы грунтобетонных смесей подвижностью ОК=12-14 см по конусу СтройЦНИЛа, предназначенных для транспортирования по трубам бетононасосами для тяжёлых бетонных смесей, таблица 3.

Таблица 3 – Составы грунтобетона марок 15-35 на подвижных смесях

Марка бетона	Расход составляющих грунтобетона, кг/м <sup>3</sup>		
	ПЦ М400	Вода	Суглинок
М15	80	480	1000
М25	140	560	1000
М35	175	610	1000

2. Зола-унос Ладыжинской ТЭС в грунтобетоне требует более детальных исследований.

#### **Литература**

1. Митинский В.М. Технологическая инструкция по производству закладочных работ при креплении (ликвидации) подземных горных выработок (катакомб) в г. Одессе. / В.М. Митинский, В.С. Дорофеев, А.А. Кучеренко, С.М. Мусиенко., Л.В. Мороз. – Одесса, Технические условия ТУ УВ. 2.7 – 26.6 – 02071033 – 001, 2007. – 62 с.

2. Митинский В.М. Бетон легкий (твердеющая закладка) на щебне известняка-ракушечника для крепления подземных горных выработок / В.М. Митинский, В.С. Дорофеев, А.А. Кучеренко. Тр. ОГАСА Технические условия ТУ УВ. 2.7 – 26.6 – 02071033 – 001. – Одесса, 2007. – 35 с.

3. Митинский В.М. Технические условия ТУ У В.2.7-26.6-02071033-001:2007. Бетон лёгкий (Твердеющая закладка) на щебне известняка-ракушечника для крепления подземных горных выработок / В.М. Митинский, В.С. Дорофеев, А.А. Кучеренко. ОГАСА. – Одесса, 2007. – 28 с.

4. ДБН В. 1.1-5:2000. Ч.1. Здания и сооружения на подработанных территориях. – К., 2000. – 66 с.

5. ВНИМИ «Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных выработок...». – М.: Недра, 1981. – 303 с.

6. ДСТУ 2.7-1:1995. Будівельні матеріали. Бетони легкі. Загальні технічні умови. – К., 1995. – 15 с.

7. Коваль С.В. Эффективный бетон для монолитного домостроения. / С.В. Коваль. – Одесса. Астропринт, 2015. – 154 с.

8. ВНИИМИ «Руководство по определению нормативной прочности твердеющей закладки...». – С. Петербург, 1993. – 38 с.

9. ДСТУ БВ.2.7-46.96 «Портландцемент с минеральными добавками». – К., 1996. – 25 с.

10. ГОСТ 10180:1990. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стройиздат, 1990. – 35с.

11. Зоценко М.Л. Бурові грунтоцементні палі, які виготовляються за бурозішувальним методом / М.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, В.М. Зоценко. Монографія. – Харків. Друкарня Мадрид, 2016. – 94 с.

Стаття надійшла 20.04.2017