

СОСТАВ ГРУНТОБЕТОНА ДЛЯ ТАМПОНИРОВАНИЯ ПУСТОТ В ИЗВЕСТНЯКЕ-РАКУШЕЧНИКЕ

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_oif@ukr.net

Аннотация. Статья посвящена подбору состава специального бетона для укрепления (закладки) искусственных подземных горных выработок, а также природных пустот, разломов и трещин в известняке-ракушечнике. Методология решения такой проблемы заключалась в выборе исходного сырья для бетона, обеспечивающего требуемую прочность, удобоукладываемость, транспортировку по трубопроводам, укладку, позволяющую исключить усадку после твердения. В качестве заполнителя выбран лессовидный суглинок, характеризующийся размером зерен до 200 мкм, получаемый как отходы при устройстве подземных частей зданий и сооружений. Поэтому продукт получил название микробетон. Получена литая смесь грунтобетона марки в пределах 1,0-3,5 МПа. Одновременно решена проблема утилизации отходов при разработке котлованов в глинистых грунтах. В результате подобран экономически эффективный продукт для заделки пустот и подземных горных выработок, что позволит обеспечить надёжность эксплуатации зданий и сооружений.

Ключевые слова: горные выработки, суглинок, смеси, микробетон, состав, марка, свойства.

СКЛАД ГРУНТОБЕТОНУ ДЛЯ ТАМПУВАННЯ ПОРОЖНИН В ВАПНЯКУ-ЧЕРЕПАШНИКУ

Митинський В.М., к.т.н., доцент,
Кучеренко О.А., д.т.н., професор,
Сушицька Т.А., інженер,
Одеська державна академія будівництва і архітектури
s.t.a_oif@ukr.net

Анотація. Стаття присвячена підбору складу спеціального бетону для зміцнення (закладки) штучних підземних гірничих виробок, а також природних порожнин, розломів і тріщин у вапняку-черепашнику. Методологія вирішення такої проблеми полягала у виборі початкової сировини для бетону, що забезпечує необхідну міцність, легкоукладальність, транспортування трубопроводами, укладку, що дозволяє виключити усадку після затвердіння. Як заповнювач обраний лісовидний суглинок, який характеризується розміром зерен до 200 мкм, що отримується як відходи при влаштуванні підземних частин будівель і споруд. Тому продукт отримав назву микробетон. Отримана лита суміш грунтобетону марки в межах 1,0-3,5 МПа. Одночасно вирішена проблема утилізації відходів при розробці котлованів в глинистих грунтах. В результаті підібрано економічно ефективний продукт для закладення пустот і підземних гірничих виробок, що дозволить забезпечити надійність експлуатації будівель і споруд.

Ключові слова: гірські виробки, суглинок, суміші, микробетон, склад, марка, властивості.

SELECTION OF SOIL-CEMENT FOR TAMPONING VOIDS IN LIMESTONE-SHELL ROCK

Mitinskiy V.M., PhD., Assistant Professor,
Kucherenko A., Doctor of Engineering, Professor,
Sushitskaya T.A., Engineer,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
s.t.a_oif@ukr.net

Abstract. The article is devoted to the selection of the composition of special concrete for strengthening (bookmarking) artificial underground mine workings, natural voids, faults, landslides and cracks. The methodology for solving such a problem consists in selecting the raw material for concrete, preparing a mixture of the required workability, equipment for preparing transportation and laying concrete mix of concrete of the required strength. As a filler loam - waste in the construction of underground parts of buildings and structures in the Odessa region was chosen. Portland cement grade 400 of Odessa factory. Preparation of a concrete mix in a high-speed mixer. Transportation of media through pipes under pressure. The mixture is cast, self-flowing with a maximum grain size of up to 200 μm . Therefore, the product was called micro-concrete. Its necessary mark is within 10-40. The properties of the raw material, mixture and concrete were studied. A cost-effective material for embedding voids was selected. The problem of waste utilization in the development of excavation in clay soils has been solved. Eliminating the pores and voids of underground mining workings – to ensure the reliability of the operation of buildings and structures with seismic resistance up to 7 magnitudes.

Keywords: mountain making, loam, mixtures, micro-concrete, composition, mark, properties.

Введение. Старая Одесса построена на лёссовидных суглинках из местного пильного известняка в условиях отсутствия до 20...25м грунтовых вод. Добыча камня обусловила образование искусственных горных выработок «катакомб» в известняке-ракушечнике. Строительство водопровода и его ненадлежащая эксплуатация изменили режим грунтовых вод, повысилась влажность среды в подземном пространстве, что способствовало снижению прочности известковой горной породы и на отдельных участках к образованию карстовых пещер. Новая Одесса, в «лице» современной городской хозяйственной деятельности и интенсивного строительства, подняла уровень грунтовых вод до глубины 3-6 м. Последствием этого лёссовидные суглинки превратились в лёссовидные пльвуны. Дома старой Одессы претерпевают неравномерные осадки. Современное высотное строительство ведется на ранее считавшихся непригодными для таких зданий территориях, в основном из-за наличия подземных выработок и карстовых пещер. Эксплуатационная надежность зданий будет обеспечена при условии тампонирувания (заделки) этих пустот. Материал для заделки пустот не должен отличаться от свойств известняков. Это обеспечит однородность потоков и скоростей подземных вод во всех природных и искусственных грунтах и направлениях, что, в свою очередь, определит однородность свойств по водопроницаемости и прочности грунтов и заделок, на которых будут возводиться здания новой Одессы. Ликвидация старых подземных выработок, при возрастающей этажности вновь строящихся жилых домов и нагрузок на основания фундаментов задача актуальная.

Анализ последних исследований и публикаций. Подбор состава лёгкого бетона для крепления (закладки, «пломбирования») искусственных подземных горных выработок, природных пустот, разломов и др. тесно связан с природными ресурсами данного региона, так как в качестве исходного сырья используются местное сырьё или отходы производства. В последних исследованиях и публикациях [1-3] по Одесскому региону и [4-7] по другим регионам предъявляется два основных требования: по удобоукладываемости бетонной смеси и по прочности бетона. При этом необходимо учесть: бетонная смесь готовится в высокооборотных смесителях и к месту укладки и уплотнения подаётся по трубам малого диаметра под высоким давлением, заделываемые пустоты должны иметь диаметр до сантиметра. Поэтому для данного региона принимается удобоукладываемость бетонной смеси

– литая с осадкой конуса 15 см и более [8-11]. Марка бетона до М25 [9]. Статья является продолжением работ, изложенных в сборнике [10].

Цель. Поставлена цель в качестве заполнителя использовать суглинок (отход производства глинистых пород) для приготовления микробетона в высокооборотных смесителях и закладки подземных горных выработок, карстов, пустот и разломов. Исключить деформации дневной поверхности, обеспечить нормальную эксплуатацию наружных и внутренних инженерных сетей закладкой выработанного пространства. Ликвидировав поры и пустоты подземных горных выработок – обеспечить надёжность эксплуатации зданий и сооружений в регионе сейсмостойкости до 7 баллов. Обеспечить долговечность строительных объектов, расположенных над горными выработками.

Задачи исследований: разработать составы и изучить свойства материала для ликвидации выработок. Методы подбора состава микробетона – согласно требований нормативных документов. Предъявляется два основных требования: удобоукладываемость бетонной смеси, подаваемой бетононасосом по трубам малого диаметра и прочность бетона в пределах марок 15-35. Необходимо установить параметры, определяющие требуемые показатели грунтобетонной смеси: состав, подвижность, водоцементное отношение, наличие (отсутствие) наполнителя и рост прочности во времени.

Результаты исследований. По числу пластичности и по показателю текучести – суглинок твердый. Средняя насыпная плотность – 1000 кг/м³. В высокооборотном смесителе вместе с водой затворения и цементом суглинок быстро разрыхляется, растворяется и распушивается. Возникает однородное глиноподобное тесто с размером зёрен до 200 мкм, почему конечный продукт и назван микробетоном. Залитое в формы тесто саморастекается, не расслаивается и не отделяет воду. Результаты определения свойств бетонной смеси и микробетона представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Составы бетона и свойства бетонной смеси

Серия №	Исходное сырьё		Средняя плотность смеси, кг/м ³	Подвижность смеси, см	
	вид	расход, кг/м ³		СтройЦНИЛ	цилиндр
5	Суглинок	1000	1400	>14	-
	Цемент	100			
	Вода	300			
6	Суглинок	1000	1520	>14	-
	Цемент	150			
	Вода	350			
7	Суглинок	1000	1610	>14	-
	Цемент	200			
	Вода	400			
8	Суглинок	1000	1580	литой	-
	Цемент	100			
	Вода	500			
9	Суглинок	1000	1650	>14	-
	Цемент	150			
	Вода	500			
10	Суглинок	1000	1720	12	4
	Цемент	200			
	Вода	500			
11	Суглинок	1000	1630	литой	40
	Цемент	150			
	Вода	750			
12	Суглинок	200	1540	литой	40
	Цемент	1000			
	Вода	1000			

Портландцемент ПЦ11/А – Ш-400. ООО «Цемент». Насыпная плотность – 1140 кг/м³. Удельная поверхность – 3000 см²/г. Разрешено применение в общестроительных работах [10].

Бетонная смесь отвечает требованиям ДСТУ БВ.2.7-18-95 «Бетоны лёгкие». Длительность перемешивания – до однородного состояния смеси 2-4 мин. За время укладки в формы и до распалубки водоотделение отсутствует. По степени удобоукладываемости смеси относятся к классу литых, саморастекающихся и самоуплотняющихся. Расход суглинка, как отхода производства и самого дешёвого материала принят в количестве 1м³ по насыпной плотности на 1 м³ микробетона. Межзерновые поры в суглинке заполняются водой затворения и зёрнами портландцемента. Расход цемента назначался в диапазоне 100-200 кг/м³ бетона по рекомендациям литературных источников [1-3] и с учётом необходимости получения марок бетона в среднем М25.

Таблица 2 – Испытание свойств бетона

№№ п/п	Возраст, сут	Расход, кг/м ³		Ц:Суг:В=1:х:у	Средняя плотность бетона, кг/м ³	R ₂₈ , МПа	Марка бетона
		воды	цемента				
Смеси для высокооборотных смесителей с самоподачей к месту укладки							
5	7	300	100	1 : 10 : 3	1660	7,8	10
	14					11,4	
	28					13	
6	7	350	150	1:6,7:2,3	1690	7,8	25
	14					17,6	
	28					24	
7	7	400	200	1:5:2	1740	11,2	30
	14					18,2	
	28					32,0	
8	7	500	100	1:10:5	1560	4,4	10
	14					5,4	
	28					12,0	
9	7	500	150	1:6,7:3,3	1690	5,2	20
	14					11,5	
	28					20,0	
10	7	500	200	1:5:2,5	1820	13,6	35
	14					23,6	
	28					36,0	
11	7	750	150	1:6,7:5	1540	6,9	20
	14					11,0	
	28					20,5	
12	7	1000	200	1:5:5	1520	8,4	20
	14					12,0	
	28					19,3	

Плотность бетонной смеси колеблется в пределах 1560-1820 кг/м³. Величина её, при постоянном расходе суглинка, определяется расходом цемента и воды. Чем их больше, тем выше плотность смеси и, в последующем, выше прочность бетона. При этом большее влияние оказывает расход цемента, чем вода.

Укладывали смеси в формы 4×4×16 см, после 3 суток распалубливали и хранили в ванночках с водой до требуемого возраста. За сутки перед испытанием на прочность образцы извлекались из ванночки и хранились в воздушно-сухих условиях. Возраст образцов – 7, 14 и 28 суток. Часть образцов оставляли на долговечность – более длительный срок твердения. Образцы взвешивались для определения средней плотности после формования и перед

каждым испытанием на прочность. Прочность при сжатии определялась на прессе ПГ-10. Принят средний результат по трём образцам-балочкам. Маркировка образцов по сериям. В каждой серии по девять образцов-балочек.

Расход цемента. Влияние расхода цемента на прочность грунтобетона в возрасте 28 суток представлено на рис. 1.

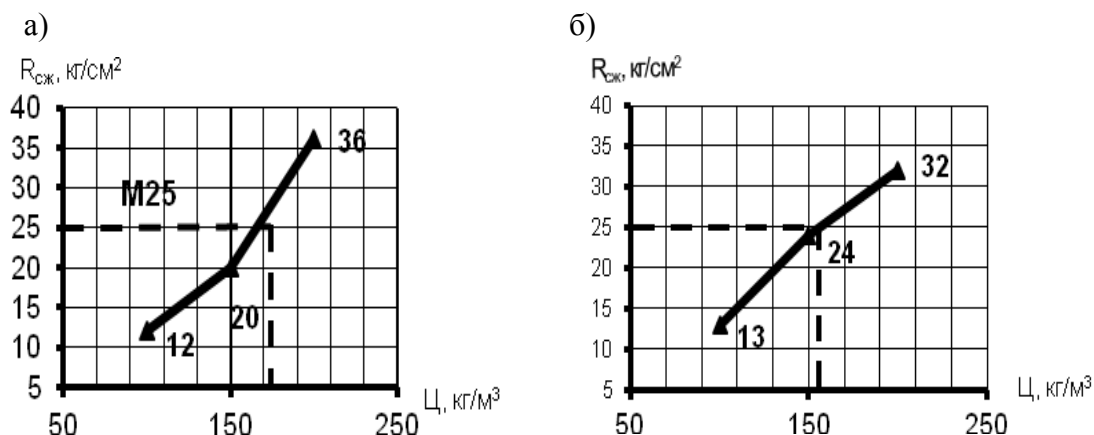


Рис. 1. Влияние расхода цемента на прочность микробетона из смесей литых (а) и малоподвижных (б)

Влияние расхода цемента на прочность бетона рассматриваем в его возрасте 28 суток. Промежуточные 7 и 14 суток имеют одинаковую закономерность и ниже марочной прочности на 50 и на 30%. Повышение расхода цемента ведёт к повышению прочности бетона. Поэтому на кривых (рис. 1) по интерполяции находим экономически выгодные расходы цемента для каждой марки бетона. Результаты опытов позволили найти зависимость между маркой бетона (M_b) и расходом цемента:

Марка бетона	5	10	15	20	25	35
Ц, кг/м ³	50	85	115	150	165	200

Водоцементное отношение также оказывает заметное влияние на прочность бетона: чем ниже В/Ц, тем выше прочность бетона. Однако, получение оптимального В/Ц тесно связано с особенностями режимов и технических характеристик высокооборотного смесителя.

Соотношение между цементом и суглинком, т.е. Ц/Ц:Суг/Ц=1:Х (рис. 2) важная характеристика. Она показывает равномерность и однородность распределения зёрен цемента в межзерновом пространстве суглинка и об объёме их заполнения, а отсюда и о прочностном факторе бетона, опережающего прочностной фактор собственно зёрен глины и сдерживающего деформации грунтобетона от усадки его при потере большого количества воды (бетонные смеси литые).

Характер кривой для возраста 28 суток свидетельствует о двух общих закономерностях в изменении прочности бетона от принятых Ц:Суг. Замедленное влияние Ц:Суг. в ранние сроки – до 14 суток и ускоренное – в диапазоне 14-28 суток. Чем больше соотношение между цементом и суглинком, тем выше прочность бетона в диапазоне расходов Ц=100-200 кг/м³. Эта кривая даёт возможность подобрать нужное нам соотношение Ц:Суг. для полученного нами диапазона марок бетона на примере М25 на рисунках (пунктирные линии).

Каждой марке бетона отвечает единственное соотношение Ц:Суг.=1:Х. Маркам М10→1:10; М20→1:7; М25→1:6; М35→1:5.

Средняя плотность микробетона (рис. 3) в возрасте 28 суток колеблется в пределах 1560-1820 кг/м³. Разница в 260 кг/м³, что составляет 17%. Увеличение плотности грунтобетона на 1% ведёт к повышению его прочности на 19%. Плотность первична, а прочность вторична. Плотность тем выше, чем больше расход цемента. Даже не воды, так как при испытании (разрушении) образцов в возрасте 28 суток, мы отмечаем всё большее количество неиспарившейся воды к центру образца. И только 2-4 мм от поверхности образцов подсушена

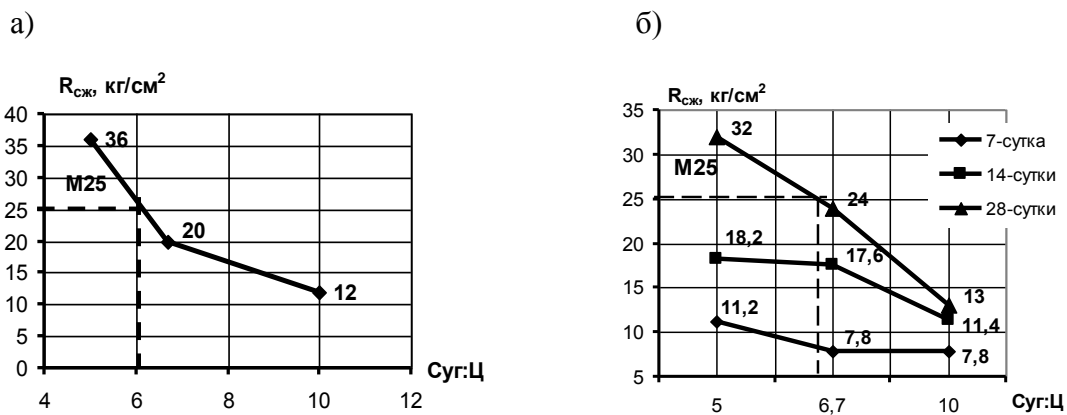


Рис. 2. Влияние соотношения между суглинком и цементом на прочность микробетона из смесей литых (а) и малоподвижных (б)

корка. Внутренняя зона образцов всё ещё влажная и по мере высыхания и гидратации прочность их должна повышаться.

Повышение средней плотности грунтобетона за счёт увеличения расхода вяжущего – путь к повышению марки грунтобетона.

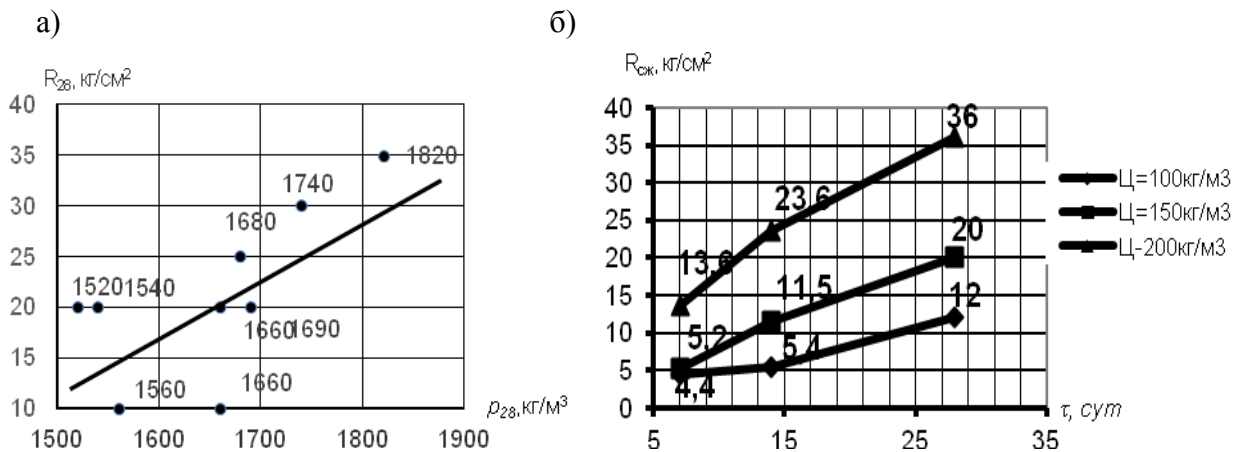


Рис. 3. Изменение прочности бетона в зависимости от его средней плотности (а) и возраста (б)

Рост прочности грунтобетона во времени (рис. 3, б) увеличивается по мере повышения расхода цемента.

Расход Ц=100 кг/м³. Наименьшая интенсивность роста прочности: замедленно до 14 суток и несколько интенсивнее от 14 до 28 суток. В возрасте 28 суток R_{гб} = 12,0 кг/см², т.е. марка грунтобетона М10. Такой бетон в возрасте 7 суток набирает 37% прочности, а в возрасте 14 суток – 45% от марочной.

Расход Ц=150 кг/м³. Характер роста прочности аналогичен. В возрасте 28 суток R_{гб} = 20,0 кг/см², т.е. марка грунтобетона М20. Набор прочности от марочной во времени составил: 26% через 7 суток и 58% – 14 суток.

Расход Ц=200 кг/м³. Более интенсивный и равномерный рост прочности во времени. В возрасте 28 суток R_{гб} = 36,0 кг/см², т.е. марка грунтобетона М35. Набор прочности от марочной во времени составил: 38% через 7 суток и 66% – 14 суток.

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

2. Достигнуты марки грунтобетона: М10 (образец №8 при Ц=100 кг/м³), М20 (образец №9 при Ц=150 кг/м³), М35 (образец №10 при Ц=200 кг/м³).

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Получены литые бетонные смеси на портландцементе марки 400 и суглинке, приготовленные в высокооборотном смесителе для производства микробетона марок 10-35, таблица 3. Необходимо продолжить работу с выявлением для литых смесей влияния числа пластичности суглинков на расход цемента.

Таблица 3 – Составы грунтобетона марок 10-35 на литых смесях

Марка бетона	Расход составляющих грунтобетона, кг/м ³			
	ПЦ М400	Вода	В/Ц	Суглинок
М10	85	460	5,4	1000
М15	110	470	4,3	1000
М20	150	495	3,3	1000
М25	165	495	3,0	1000
М35	200	500	2,5	1000

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. 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. ВНИИМИ «Руководство по определению нормативной прочности твердеющей закладки...». – С.-Петербург, 1993. – 38 с.
7. Зоценко М.Л. Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозішувальним методом / М.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, В.М. Зоценко // Монографія. – Харків, Друкарня Мадрид, 2016. – 94 с.
8. Коваль С.В. Эффективный бетон для монолитного домостроения / С.В. Коваль. – Одесса, Астропринт, 2015. – 154 с.
9. ДСТУ 2.7-18-95. Будівельні матеріали. Бетони легкі. Загальні технічні умови. – К., 1995. – 15 с.
10. Митинский В.М. Оптимизация состава грунтоцемента для заполнения подземных выработок / В.М. Митинский, А.А. Кучеренко, Т.А. Сушицкая // Вісник ОДАБА. – Одеса, Optimum, 2017. – №66. – С. 80-85.
11. ДСТУ БВ.2.7-46.96 «Портландцемент с минеральными добавками». – К., 1996. – 25 с.

Стаття надійшла 6.12.2017