

5. Шмулович, К.И. Двуокись углерода в высокотемпературных процессах минералообразования: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра геол.-минерал. наук: 04.00.02/К.И. Шмулович; – Черноголовка (Московская обл.), 1983. – 44 с.

УДК 624.012.4.35

## **ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА НА ЗАПОЛНИТЕЛЕ ИЗ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД**

*ПОЛЕЙКО Н.Л., ЛЕОНОВИЧ С.Н.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

### **Введение**

Требования к бетонам по их эксплуатационным качествам, области применения, физико-техническим свойствам, условиям долговечности расширяют область экономического использования различных видов заполнителей. Если учесть, что заполнители занимают в бетоне до 80 % объема, а стоимость их достигает 50 % стоимости бетонных и железобетонных конструкций, то становится понятным, что правильный выбор заполнителей, наиболее рациональное их применение имеют большое влияние на свойства бетонной смеси, бетонных и железобетонных конструкций, технико-экономическую эффективность производства строительных изделий из сборного, монолитного бетона и железобетона в целом.

При проектировании составов бетонной смеси исходят из необходимости получения бетона заданной прочности, консистенции и долговечности при минимальном расходе цемента. Для тяжелых бетонов минимальный расход цемента обеспечивается максимальным насыщением объема бетона заполнителями и минимальной пустотностью смеси заполнителей.

В данной работе приводятся результаты исследований бетонов на щебне из флюсового известняка, который является вторичным продуктом металлургической промышленности. Изучены основные физико-механические и эксплуатационные характеристики бетонов на флюсовом известняке.

На основании проведенных сравнительных исследований установлено, что флюсовый известняк может применяться для изделий и конструкций из тяжелого бетона наряду с такими заполнителями, как гранитный щебень и природный гравий.

### **Экспериментальные исследования. Анализ результатов**

Разносторонние требования к эксплуатационным качествам, области применения и физико-техническим свойствам бетонов, требованиям долговечности, а также к работе предприятий строительной индустрии в рыночных условиях расширяют область экономического использования различных видов заполнителей.

Если учесть, что заполнители занимают в бетоне до 80 % объема и их стоимость достигает 50 % стоимости бетонных и железобетонных конструкций, то становится понятным, почему изучение, правильный выбор заполнителей и их рациональное применение влияют на свойства бетонной смеси, бетонных и железобетонных конструкций, а также на технико-экономическую эффективность производства строительных изделий из сборного и монолитного бетона и железобетона в целом.

В настоящее время в Беларуси в качестве крупного заполнителя для приготовления тяжелого бетона используют гранитный щебень, щебень из гравия и гравий. Гранитный щебень относится к глубинным изверженным горным породам, гравий и щебень из гравия – к осадочным [7,5,6].

В данной статье рассматриваются результаты испытаний тяжелых бетонов на крупном заполнителе из осадочной горной породы – известняке. Флюсовый известняковый щебень – вторичный продукт в металлургической промышленности, в частности на РУП «Белорусский металлургический завод». В технологии металлургического производства для выплавки стали применяют флюсовый известняк (известняковый щебень) фракции 5 мм и ниже. Вторичный продукт – щебень, который характеризуется содержанием зерен от 5 до 40 мм, причем количество крупных фракций существенно превосходит количество мелких. Флюсовый известняк выпускают в соответствии с требованиями [9]. Химический состав и процентное содержание основных соединений представлены в таблице 1.

Таблица 1

## Химический состав флюсового известняка

Показатель	Содержание, % по массе
Массовая доля суммы оксидов кальция и магния CaO + MgO	52,5...54,0
Массовая доля оксида магния MgO	5,0
Массовая доля оксида кремния SiO <sub>2</sub>	1,5...2,0
Массовая доля серы S	0,06...0,09
Массовая доля фосфора P	0,06...0,09
Массовая доля нерастворимого остатка в соляной кислоте	2,0...4,0

Как свидетельствуют данные, приведенные в таблице 1, флюсовый известняк представляет собой материал осадочного происхождения, состоящий преимущественно из оксидов кальция и магния. Согласно требованиям [3], в качестве заполнителей для приготовления тяжелых бетонов могут применяться материалы из осадочных горных пород. Предварительно проведенные испытания по определению физико-механических характеристик осадочной горной породы показали, что щебень из флюсового известняка состоит преимущественно из фракции 20...40 мм. По содержанию лещадных зерен, пылевидных частиц и марке по дробимости щебень из флюсового известняка удовлетворяет требованиям [4,1] (табл. 2).

Таблица 2

## Физико-механические характеристики щебня из флюсового известняка

Содержание зерен, % крупностью, мм					Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Плотность в уплотненном состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Плотность зерен, кг/м <sup>3</sup>
Свыше 40	40...20	20...10	10...5	Менее 5			
8,79	82,47	8,06	0,36	0,31	1278	1430	2610
Содержание зерен лещадной и игловатой форм – 16,3 % по массе							
Содержание пылевидных частиц – 1,9 % по массе							
Марка щебня по дробимости – 1000							

Для применения данного щебня в качестве крупного заполнителя требуется его обогащение мелкими фракциями, так как при данном зерновом составе он не соответствует требованиям [4] и обладает повышенной пустотностью, что приводит к перерасходу цемента в бетонной смеси. Для обогащения известнякового щебня и

получения смешанного заполнителя использовали обычный гранитный щебень и природный гравий.

С целью определения рациональной области применения известнякового щебня были проведены исследования по изучению влияния данного заполнителя на прочностные и эксплуатационные свойства тяжелых бетонов. Были подобраны составы бетонов различных классов по прочности на сжатие. Результаты, полученные при испытании бетона на известняковом щебне, сравнивались с аналогичным бетоном, изготовленным на гранитном щебне. Для получения сопоставимых данных, искусственно подбирали фракционный состав гранитного щебня до появления кривой просеивания, аналогичной смешанному заполнителю.

Содержание отдельных фракций в смешанном крупном заполнителе, гранитном щебне и гравии, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Содержание отдельных фракций в смешанном крупном заполнителе, гранитном щебне и гравии

Наименование заполнителя	Содержание фракций (известняка, гранита и гравия) в крупном заполнителе, %								
	Щебень из флюсового известняка			Гранитный щебень			Гравий		
	5... 10	10... 20	20... 40	5... 10	10... 20	20... 40	5... 10	10... 20	20... 40
Смешанный	–	–	50	20	30	–	–	–	–
Гранитный	–	–	–	20	30	50	–	–	–
Гравий	–	–	–	–	–	–	20	30	50

Расход цемента в бетонной смеси варьировался от 250 до 450 кг на 1 м<sup>3</sup>, водоцементное отношение – от 0,4 до 0,6. Составы бетона приведены в таблице 4.

При подборе состава бетона использовали песок с  $M_k = 2,51$  и портландцемент ПЦ-500-Д20 ОАО «Красносельскстройматериалы».

Для исследований в лабораторных условиях изготавливались опытные образцы, которые твердели в нормально-влажностных условиях и подвергались испытанию в возрасте 28 сут.

Прочность бетонов на сжатие и растяжение при раскалывании определяли на образцах-кубах с ребром 15 см. Результаты испытаний по определению прочности на сжатие и растяжение при раскалывании представлены в таблице 5.

Таблица 4

## Составы бетона

Номер состава	Расход составляющих, кг на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси					В/Ц
	Цемент	Песок	Смешанный заполнитель	Гранитный щебень	Гравий	
1	250	785	1200	–	–	0,6
2	350	745	1150	–	–	0,5
3	450	745	1100	–	–	0,4
4	250	780	–	1200	–	0,6
5	350	745	–	1150	–	0,5
6	450	740	–	1100	–	0,4
7	350	750	–	–	1150	0,5

Таблица 5

Прочность на сжатие и растяжение при раскалывании образцов, изготовленных на различных видах крупного заполнителя

№ состава	Предел прочности*, МПа, в возрасте 28 сут. при испытаниях на	
	сжатие	растяжение при раскалывании
1	23,7...26,2	1,5...1,9
2	33,0...36,4	2,4...2,8
3	44,3...51,1	2,7...3,1
4	22,7...25,8	1,4...2,0
5	33,4...37,1	2,5...2,7
6	46,7...49,5	2,8...3,0
7	28,2...31,5	1,7...2,2

\* Значения минимального и максимального пределов прочности, полученных при испытаниях

Экспериментальные данные (табл. 5) показывают, что бетон на смешанном заполнителе по прочностным показателям не отличается от обычного бетона, изготовленного на гранитном щебне. Смешанный заполнитель, состоящий из зерен, имеющих более развитую поверхность, превосходит по прочностным показателям бетон, изготовленный с использованием гравия, зерна которого имеют окатанную поверхность.

Немаловажное значение имеет исследование заполнителя на эксплуатационные характеристики бетонов, к которым относятся показатели, косвенно характеризующие долговечность материала, а именно: способность бетона противостоять воздействию знакопеременных температур (морозостойкость), способность бетона про-

тивостоять проникновению различных агрессивных веществ (водонепроницаемость), а также защищать стальную арматуру в течение длительного срока эксплуатации (защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре).

Для оценки морозостойкости и водонепроницаемости бетона, изготовленного с использованием заполнителя из флюсового известняка, готовились основные образцы на смешанном заполнителе и контрольные – на гранитном щебне. Образцы формовали из составов бетона с расходом цемента 250,350 и 450 кг на м<sup>3</sup> при В/Ц = 0,6; 0,5 и 0,4. Морозостойкость и водонепроницаемость определяли по методике [1,2]. Результаты испытаний представлены в таблице 6.

Таблица 6

Морозостойкость и водонепроницаемость образцов, изготовленных на смешанном заполнителе и гранитном щебне

Вид заполнителя	Расход цемента	В/Ц	Водопоглощение, % по массе	W, МПа	F, циклы
Смешанный	250	0,6	7,2	0,2	75
Гранитный	250	0,6	7,7	0,2	75
Смешанный	350	0,5	5,8	0,4	100
Гранитный	350	0,5	6,3	0,4	100
Смешанный	450	0,4	4,2	0,6	150
Гранитный	450	0,4	4,6	0,6	150

Данные таблицы 6 свидетельствуют о том, что известняковый щебень не влияет на такие свойства бетона, как морозостойкость и водонепроницаемость. Незначительное различие в показателе водопоглощения образцов на смешанном и гранитном щебне может быть вызвано снижением капиллярной пористости цементного камня при использовании смешанного заполнителя. Капиллярная пористость цементного камня в бетоне определяется истинным водоцементным отношением, которое зависит от способности заполнителя поглощать часть воды при затворении бетонной смеси. По опытным данным, количество воды, поглощаемое зернами известнякового щебня при прочих равных условиях, на 40 % выше, чем количество воды, поглощаемое зернами гранитного щебня. Таким образом, при использовании в качестве крупного заполнителя щебня из флюсового известняка при прочих равных условиях создается возможность для снижения капиллярной пористости цементного камня. Однако, как свидетельствуют результаты испытаний, это не оказы-

вает ощутимого влияния на повышение морозостойкости и водонепроницаемости бетона.

Поскольку, как было показано выше, в материале щебня из флюсового известняка в незначительном количестве присутствуют соединения серы и фосфора, вполне естественным является изучение влияния данного заполнителя на защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре. Оценку защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре проводили по методике [8]. Состав бетона на смешанном заполнителе для проведения исследований принимался согласно [8]. В качестве образцов для сравнения применялся бетон, изготовленный с использованием гранитного щебня. В качестве рабочего электрода использовали арматуру класса S240. Результаты испытаний представлены в таблице 7.

Согласно данным таблицы 7 и требованиям, приведенным в [9], сталь в образцах на смешанном заполнителе (щебень из флюсового известняка + гранитный щебень) находится в пассивном состоянии. Следовательно, на начальном этапе (до воздействия эксплуатационной среды) бетон на щебне из флюсового известняка обладает достаточными защитными свойствами по отношению к стальной арматуре.

Таблица 7  
Результаты потенциостатических исследований

Наименование показателя	Требования нормативного документа	Фактическое значение
1. Установившийся потенциал, мВ	–	–310 / –324*
2. Плотность тока при потенциале +300 мВ, мкА/см <sup>2</sup>	До 10,0	1,21 / 1,56*
3. Потенциал разрушения пассивной пленки, мВ	–	+550 / +630*

\* Значение показателей для образцов на смешанном заполнителе

В результате выполненных исследований были разработаны и прошли опытную апробацию составы бетонных смесей с использованием щебня из флюсового известняка, подобраны бетонные смеси и разработаны рекомендации по применению флюсового известняка в технологии железобетонных изделий.

## **Выводы**

1. Применение известнякового щебня в качестве крупного заполнителя возможно путем его обогащения, т.е. приведения его зернового состава в соответствие с требованиями нормативной документации.

2. Щебень из флюсового известняка не влияет на прочностные показатели бетонов, а также не оказывает отрицательного влияния на морозостойкость и водонепроницаемость бетона.

3. Бетон на заполнителе из флюсового известняка обладает достаточными защитными свойствами по отношению к стальной арматуре (сталь находится в пассивном состоянии).

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. ГОСТ 10060.1-95. Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости.

2. ГОСТ 12730.5-84. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.

3. ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.

4. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород. Технические условия.

5. Загер, И.Ю. Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождения нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого Автономного округа / И.Ю. Загер, А.А. Яшинькин, Л.Н. Андропова // Строительные материалы. 2011. №5. С. 84-86.

6. Петров, В.П. Пористые заполнители из отходов промышленности / В.П. Петров, С.А. Токарева // Строительные материалы. 2011. №12. С. 46-50.

7. Старчуков, Д.С. Бетоны ускоренного твердения с добавками твердых веществ неорганической природы / Бетон и железобетон. 2011. № 14. С. 22-24.

8. СТБ 1168-99. Бетоны. Метод контроля коррозионного состояния стали в бетоне и защитных свойств.

9. ТУУ 14-16-53-2000. Щебень из флюсового известняка.