PolotskSU

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЛЬНЮССКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. ГЕДЕМИНАСА

БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (УКРАИНА)

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ г. ЛЕЙРИИ (ПОРТУГАЛИЯ)

АРИЭЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (ИЗРАИЛЬ)

ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ

Электронный сборник статей
международной научной конференции,
посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета

(Новополоцк, 5-6 апреля 2018 г.)

Под редакцией
канд. техн. наук, доцента А. А. Бакатовича;
канд. техн. наук, доцента Л. М. Парфеновой

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2018

PolotskSU

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:
А. А. Бакатович (председатель), Л. М. Парфенова (зам. председателя),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Т. И. Королева, В. Е. Овсейчик

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ [Электронный ресурс] : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Рассмотрены организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.

Компьютерный дизайн К. В. Чулковой, В. А. Крупенина.

Технический редактор О. П. Михайлова.

Компьютерная верстка Т. А. Дарьяновой.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

ISBN 978-985-531-608-5 © Полоцкий государственный университет, 2018

PolotskSU

УДК 614.841.33

ФЛЮСОВЫЙ ИЗВЕСТНЯК СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Н.Л. Полейко, С.Н. Леонович, А.И. Пелюшкевич
Белорусский национальный технический университет, Минск
email: pdn13@land.ru; snleonovich@yandex.ru; anrei.pelsh@mail.ru

Область экономического использования различных видов заполнителей все время расширяется из-за постоянно меняющихся требований к бетонам по их эксплуатационным качествам, области применения, физико-техническим свойствам, условиям долговечности и т.д. Многочисленными исследованиями установлено, что наиболее рациональное применение различных видов заполнителей в бетоне оказывает большое влияние на технические характеристики бетона строительных конструкций. Приведены результаты исследований бетона на щебне из флюсового известняка, который является вторичным продуктом металлургической промышленности. На основании проведенных исследований показано, что флюсовый известняк может применяться для изделий и конструкций из тяжелого бетона наряду с такими заполнителями, как гранитный щебень и природный гравий.

Ключевые слова: щебень гранитный, флюсовый известняк, щебень из гравия, бетон.

FLUX LIMESTONE OF STEEL-FUELING PRODUCTION AS A LARGE FILLER

N. Poleyko, S. Leonovich, A. Pelyushkevich
Belarussian National Technical University, Minsk
email: pdn13@land.ru; snleonovich@yandex.ru; anrei.pelsh@mail.ru

The field of economic application of various types of fillers is expanding all the time due to permanently changing requirements for concretes concerning their operating qualities, application fields, physical-technical properties, durability conditions etc. Numerous studies have established that the most rational use of various types of fillers in the concrete greatly influences on the technical characteristics of the concrete of building structures. Results of the studies of the concrete prepared with crushed fluxing limestone, which is a secondary product of metallurgical industry, are presented. On the basis of the study conducted, it is shown that the fluxing limestone can be used for products and structures of heavy-weight concrete along with such fillers as granite macadam and natural gravel.

Keywords: granite macadam, fluxing limestone, crushed gravel, concrete

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 [1–8].

Если учесть, что заполнители занимают в бетоне до 80 % объема и их стоимость достигает 50 % стоимости бетонных и железобетонных конструкций, становится понятным, почему изучение, правильный выбор заполнителей и их рациональное применение влияют на свойства бетонной смеси, бетонных и железобетонных конструкций, а также на технико-

PolotskSU

экономическую эффективность производства строительных изделий из сборного и монолитного бетона и железобетона в целом [9–14].

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.

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 ТУУ 14-16-53-2000 «Щебень из флюсового известняка». Химический состав и процентное содержание основных соединений представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Химический состав и процентное содержание основных соединений

Показатель	Содержание, масс. %
Массовая доля CaO + MgO	52,5–54,0
Массовая доля MgO	5,0
Массовая доля SiO_2	1,5–2,0
Массовая доля S	0,06–0,09
Массовая доля 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 СТБ 1544–2005 «Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия», 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 согласно ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород. Технические условия». Физико-механические характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Физико-механические характеристики щебня из флюсового известняка

Содержание зерен, % крупностью, мм					Насыпная плотность, кг/м^3	Плотность в уплотненном состоянии, кг/м^3	Плотность зерен, кг/м^3
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 мас. %. Содержание пылевидных частиц – 1,9 мас. %. Марка щебня по дробимости – 1000.							

PolotskSU

Для применения данного щебня в качестве крупного заполнителя требуется его обогащение мелкими фракциями, так как при данном зерновом составе он не соответствует требованиям СТБ 1544–2005 «Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия» 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 проводились исследования по изучению влияния данного заполнителя на прочностные и эксплуатационные свойства тяжелых бетонов. Были подобраны составы бетонов различных классов по прочности при сжатии. 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^3, водоцементное отношение – от 0,4 до 0,6. Составы бетона приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Составы бетона

№ состава	Расход составляющих, кг на 1 м^3 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

При подборе состава бетона использовали песок с $М_к = 2,51$ 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 при сжатии и растяжение при раскалывании определяли на образцах-кубах с ребром 15 см. Результаты испытаний по определению прочности при сжатии и растяжении при раскалывании представлены в таблице 5.

PolotskSU

Таблица 5. – Результаты испытаний по определению прочности при сжатии и растяжении при раскалывании

№ состава	Предел прочности*, МПа, в возрасте 28 сут.	
	при сжатии	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
5	33,4/37,1	2,5/2,7
6	46,7/49,5	2,8/3
7	28,2/31,5	1,7/2,2
Примечание. * 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 соответствие эксплуатационным характеристикам бетонов, к которым относятся показатели, косвенно характеризующие долговечность материала, а именно: способность бетона противостоять воздействию знакопеременной температуры (морозостойкость), способность бетона противостоять проникновению различных агрессивных веществ (водонепроницаемость), а также защищать стальную арматуру в течение длительного срока эксплуатации (защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре) [15].

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 1 м^3 при В/Ц = 0,6; 0,5 и 0,4. Морозостойкость и водонепроницаемость определяли по методике согласно ГОСТ 10060.1–95 «Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости» и ГОСТ 12730.5–84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости». 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, мас. %	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 таблице 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

PolotskSU

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 оказывает 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 согласно СТБ 1168–99 «Бетоны. Метод контроля коррозионного состояния стали в бетоне и защитных свойств». Состав бетона на смешанном заполнителе для проведения исследований принимался согласно СТБ 1168–99. Для сравнения были выбраны образцы бетона, изготовленного с использованием гранитного щебня. В качестве рабочего электрода использовали арматуру класса S240. Результаты испытаний представлены в таблице 7.

Таблица 7. – Результаты потенциостатических исследований

Показатель	Требования нормативного документа	Фактическое значение
Установившийся потенциал, мВ	–	–310/–324*
Плотность тока при потенциале +300 мВ, мкА/см^2	До 10,0	1,21/1,56*
Потенциал разрушения пассивной пленки, мВ	–	+550/+630*
Примечание. * Значение показателей для образцов на смешанном заполнителе.		

Согласно данным таблицы 7 и требованиям, приведенным в СТБ 1168–99, 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.

В рамках 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 при производстве 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.

PolotskSU

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайсберг, Л.А. Оценка технологических возможностей управления качеством щебня при дезинтеграции строительных горных пород / Л.А. Вайсберг, Е.Е. Каменева, В.Н. Аминов // Строительные материалы. – 2013. – № 11. – С. 30–34.

2. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 368 с.

3. Вайсберг, Л.А. Исследование структуры порового пространства гнейсогранита методом рентгеновской компьютерной микротомографии / Л.А. Вайсберг, Е.Е. Каменева // Обогащение руд. – 2013. – № 3. – С. 37–41.

4. Олейник, П.П. Организация системы переработки строительных отходов / П.П. Олейник, С.П. Олейник .– М. : МГСУ, 2009. – 251 с.

5. Ильичев, В.А. О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности / В.А. Ильичев, Н.И. Карпенко, В.Н. Ярмаковский // Строительные материалы. – 2011. – № 4. – С. 36–42.

6. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве / В.С. Горшков [и др.] ; под ред. В.С. Горшкова. – М. : Стройиздат, 1985. – 272 с.

7. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов / Л.А. Вешнякова [и др.] // Строительные материалы. – 2012. –№ 10. – С. 55–56.

8. Полейко, Н.Л. Физико-механические показатели бетона на кубовидном щебне / Н.Л. Полейко, С.Н. Леонович // Строительные материалы. – 2015. – № 7. – С. 13–16.

9. Пучин, К.Г. Вопросы экологии использования твердых отходов черной металлургии в строительных материалах / К.Г. Пучин // Строительные материалы. – 2012. –№ 8. – С. 54–56.

10. Юшков, Б.С. Металлургические шлаки в производстве железобетонных свай, эксплуатирующихся в неагрессивной среде / Б.С. Юшков, С.С. Семенов // Строительные материалы. – 2012. – № 12. – С. 14–15.

11. Петров, В.П. Пористые заполнители из отходов промышленности / В.П. Петров, С.А. Токарева // Строительные материалы. – 2011. – № 11. – С. 46–50.

12. Старчуков, Д.С. Бетоны ускоренного твердения с добавками твердых веществ неорганической природы / Д.С. Старчуков // Бетон и железобетон. – 2011. – № 4. – С. 22–24.

13. Загер, И.Ю. Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождений нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого автономного округа / И.Ю. Загер, А.А. Ашинькина, Л.Н. Андропова // Строительные материалы. – 2011. – № 5. –С. 84–86.

14. Добшиц, Л.М. Определение морозостойкости крупного заполнителя для тяжелых бетонов / Л.М. Добшиц, И.И. Магомедэминов // Бетон и железобетон. – 2012. – № 4. – С. 16–19.

15. Корнеева, Е.В. Исследования шлаков сталеплавильного производства с целью вторичного использования / Е.В. Корнеева // Строительные материалы. – 2012. – № 8. – С. 62–63.