

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

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

УДК 614.841.33

**БЕТОН НА КУБОВИДНОМ ЩЕБНЕ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ
В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ВНЕЦЕНТРЕННОГО СЖАТИЯ***Н.Л. Полейко, С.Н. Леонович, А.И. Пелюшкевич*

Белорусский национальный технический университет, Минск

email: pdn13@land.ru, snleonovich@yandex.ru, andrei.pelsh@mail.ru

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. Приводятся сравнительные результаты испытаний обычного и кубовидного щебня, исследования основных физико-технических свойств бетона на кубовидном щебне из гранита (прочность при сжатии, растяжение при раскалывании, морозостойкость, водонепроницаемость, водопоглощение и коэффициент сопротивления воздухопроницаемости). В результате проведенных сравнительных исследований установлено, что применение кубовидного щебня в качестве крупного заполнителя целесообразно в бетонах конструкций, работающих в условиях центрального и внецентренного сжатия.

Ключевые слова: бетон, щебень кубовидный, бетонные конструкции, сборный железобетон.

**CONCRETE ON CUBIC LUMBER FOR STRUCTURES
UNDER CONDITIONS OF CENTRAL AND VNCENTRIC COMPRESSION***N. Poleyko, S. Leonovich, A. Pelyushkevich*

Belarussian National Technical University, Minsk

email: pdn13@land.ru, snleonovich@yandex.ru, andrei.pelsh@mail.ru

Requirements for concretes regarding their operational qualities, areas of application, physical-technical properties, and terms of durability expand the area of economic application of fillers of various types. Considering that fillers occupy up to 80% of the concrete volume and their cost reaches 50% of the cost of concrete and reinforced concrete products, it becomes clear that correct selection of fillers and the most rational application of them have a great on properties of the concrete mix of concrete and reinforced concrete structures, technical-economic efficiency of producing building products made of precast, monolithic concrete and reinforced concrete in whole. The article presents comparative results of tests of ordinary and cubiform crushed stones, studies of basic physical-technical properties of concrete with cubiform granite crushed stone (compression strength, split-tensile strength, frost-resistance, waterproofness, water adsorption, and coefficient of resistance to air permeability). As a result of comparative studies conducted, it

is established that the use of cubiform crushed stone as a large-size filler is reasonable for concretes of structures operating under conditions of central and eccentric compression.

Keywords: concrete, cubiform crushed stone, concrete structures, precast reinforced concrete.

Основным материалом для возведения разнообразных строительных конструкций, в том числе и сборных, является бетон. Название бетона зачастую связывают с видом используемых заполнителей, которые занимают в бетоне до 80 % объема, а их стоимость достигает 30...50 % стоимости бетонных и железобетонных конструкций. Поэтому изучение и правильный выбор заполнителя имеет важное значение для получения бетона с требуемыми физико-механическими показателями.

Одна из характеристик заполнителей – форма их зерен. В нормативных документах ее принято характеризовать определенными терминами.

Щебень узких фракций – дробленый каменный материал с размером зерен, соответствующим стандартным ситам с круглыми отверстиями диаметром от 2,5 до 20 мм, разделенный на фракции диапазоном 2,5 или 5 мм.

Щебень кубовидный – щебень узких фракций с содержанием зерен кубовидной формы не менее 50 % по массе и содержанием зерен пластинчатой и игловатой форм не более 15 % по массе.

Щебень кубовидный мелкий – щебень кубовидный с размером зерен от 2,5 до 5 мм.

Зерна кубовидной формы – зерна щебня с околотовой поверхностью в форме призмы или многогранника, толщина и ширина которых меньше длины не более чем в 2 раза.

Щебень из плотных горных пород – минеральный зернистый сыпучий материал, получаемый дроблением массивных изверженных (магматических) интрузивных горных пород (гранит, диорит, габбро и др.) со средней плотностью от 2,5 до 3,0 г/см³.

Щебень кубовидный выпускают в виде следующих основных фракций, мм (по ситам с круглыми отверстиями): от 2,5 до 5; св. 5 до 7,5; св. 5 до 10; св. 7,5 до 12,5; св. 10 до 15; св. 12,5 до 17,5; св. 15 до 20.

Соответствие размеров фракции щебня по ситам с круглыми отверстиями и зерен щебня по ситам с квадратными отверстиями приведено в таблице 1.

Таблица 1. – Соответствие размеров фракции щебня по ситам с круглыми отверстиями и зерен щебня по ситам с квадратными отверстиями

Диаметр отверстия контрольного сита с круглыми ячейками из стандартного набора сит для щебня, мм	Соответствующий размер зерен щебня по ситам с квадратными ячейками, мм
2,5	2
5	4
7,5	6,3
10	8
12,5	10
15	12
17,5	14
20	16

Щебень кубовидный, в зависимости от содержания зерен кубовидной, пластинчатой и игловатой формы, а также от содержания пылевидных и глинистых частиц классифицируют по сортам в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2. – Классификация щебня в зависимости от содержания зерен

Сорт кубовидного щебня	Содержание зерен кубовидной формы, масс. %, не менее	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, масс. %, не более	Содержание пылевидных и глинистых частиц, мас. %, не более
I	Свыше 65 до 100 вкл.	До 8 вкл.	До 0,5 вкл.
II	Свыше 50 до 100 вкл.	До 15 вкл.	До 10 вкл.

Зерна кубовидного щебня влияют на плотность упаковки заполнителя в объеме. Многочисленными экспериментальными данными доказано, что наиболее плотная укладка достигается в заполнителе, содержащем зерна в виде различных правильных многогранников [1–4].

Кубовидный щебень по форме зерен позволяет получать большую плотность упаковки по сравнению с обычным щебнем, так как, во-первых, содержит малое количество зерен пластинчатой и игловатой формы и, во-вторых, характеризуется содержанием зерен кубовидной формы (соотношение толщины (ширины) к длине 1:2 и менее). В зависимости от качества кубовидного щебня содержание таких зерен в нем колеблется от 50 до 65 % по массе, согласно СТБ 1311-2002 «Щебень кубовидный из плотных горных пород. Технические условия».

Представляет интерес исследование основных физико-механических характеристик бетона на кубовидном щебне, поскольку в настоящее время данный вид заполнителя используется в основном в дорожном строительстве для устройства оснований под автомобильные дороги.

Предварительно в лабораторных условиях были проведены испытания по определению физико-механических свойств двух фракций кубовидного щебня. Результаты испытаний по определению зернового состава приведены в таблице 3.

Марку по дробимости крупного заполнителя определяли по степени разрушения пробы материала при сжатии в цилиндре при нормируемой нагрузке. Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Таблица 3. – Результаты испытаний по определению физико-механических свойств

Наименование щебня (НД)	Частные остатки на ситах, %	Полные остатки, %	Требования НД
Кубовидный фр. 2–4 мм	1,25–5,4	98,9	98–100
	2,5–86	93,5	95–100
	5–7,5	7,5	до 10
	7,5–0	0	Не допускается
Кубовидный фр. 6,3–10	5–8,5	99,2	95–100
	7,5–24,6	90,7	90–100
	10–64,3	66,1	30–80
	12,5–1,8	1,8	до 10
	15–0	0	Не допускается

Таблица 4. – Результаты испытаний по дробимости крупного заполнителя

Наименование щебня	Потеря массы при испытаниях на дробимость, %	Марка щебня по дробимости
Кубовидный фр. 2–4	9,2	1400
Кубовидный фр. 6,3–10	11,5	1400

Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы определяли по ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний», а содержание зерен кубовидной формы определяли по СТБ 1311-2002 «Щебень кубовидный из плотных горных пород. Технические условия». Результаты испытаний представлены в таблице 5.

Таблица 5. – Результаты испытаний по содержанию зерен

Наименование щебня (НД)	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, %	Содержание зерен кубовидной формы, %
Кубовидный фр. 2–4	2,1	86,2
Кубовидный фр. 6,3–10	5,0	80,7

Насыпную плотность, среднюю плотность зерен крупного заполнителя и содержание зерен слабых пород определяли по ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний». Результаты испытаний представлены в таблице 6.

Таблица 6. – Определение насыпной плотности, средней плотности зерен крупного заполнителя и содержания зерен слабых пород

Наименование щебня (НД)	Насыпная плотность, кг/м ³	Средняя плотность зерен, кг/м ³	Содержание зерен слабых пород, %
Кубовидный фр. 2–4	1320	2580	2,2
Кубовидный фр. 6,3–10	1390	2580	1,6

Целью экспериментальных исследований являлось получение сравнительных показателей основных физико-механических характеристик бетона, изготовленного с использованием обычного и кубовидного щебня. Исследования проводились на восьми составах бетонной смеси. Использовались следующие фракции заполнителей: 5–10; 10–15; 15–20 мм и смеси фракций в соотношении 40 % фракции 5–10 мм и 60 % фракции 15–20 мм. Образцы для проведения испытаний готовились в лабораторных условиях; перед испытанием хранились в нормально-влажностной среде; подвергались испытаниям в возрасте 28 сут. Определяли следующие показатели: прочность при сжатии, прочность при растяжении при раскалывании, водопоглощение, водонепроницаемость и морозостойкость (по коэффициенту воздухопроницаемости). Перед формованием образцов для проверки правильности подобранных составов бетонных смесей определяли среднюю плотность бетонной смеси. Результаты испытаний представлены в таблице 7.

Таблица 7. – Определение средней плотности бетонной смеси

№ состава	Наименование и фракционный состав заполнителя	Средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³
1	Обычный фр. 5–10 мм	2410
2	Кубовидный фр. 5–10 мм	2430
3	Обычный фр. 10–15 мм	2380
4	Кубовидный фр. 10–15 мм	2390
5	Обычный фр. 15–20 мм	2405
6	Кубовидный фр. 15–20 мм	2420
7	Обычный фр. 5–20 мм	2400
8	Кубовидный фр. 5–20 мм	2430

Данные таблицы 7 показывают, что кубовидный щебень в бетонной смеси укладывается более плотно, чем обычный щебень, что отражается на изменении средней плотности бетонной смеси и, как следствие, на уменьшении выхода бетона в плотном теле. Различия в изменении средней плотности бетонной смеси зависят, во-первых, от фракционного состава заполнителя, а также от характеристик состава (соотношение растворной составляющей и крупного заполнителя, водоцементное отношение, удобоукладываемость и т.д.).

Наряду с такими характеристиками крупного заполнителя, как прочность, величина сцепления цементного камня с поверхностью зерен и т.д., на изменение прочностных показателей бетона оказывает влияние пустотность заполнителя в уплотненном состоянии. С одной стороны, чем она меньше, тем меньше требуется цементного теста для заполнения пустот и тем выше при равных расходах цемента должна быть прочность. С другой стороны, чем меньше пустотность заполнителя, тем выше средняя плотность затвердевшего бетона, а поскольку существует связь между плотностью и прочностью материала, следовательно, выше будет и прочность самого бетона. Результаты испытаний по определению прочности на сжатие и растяжение при раскалывании приведены на рисунке 1.

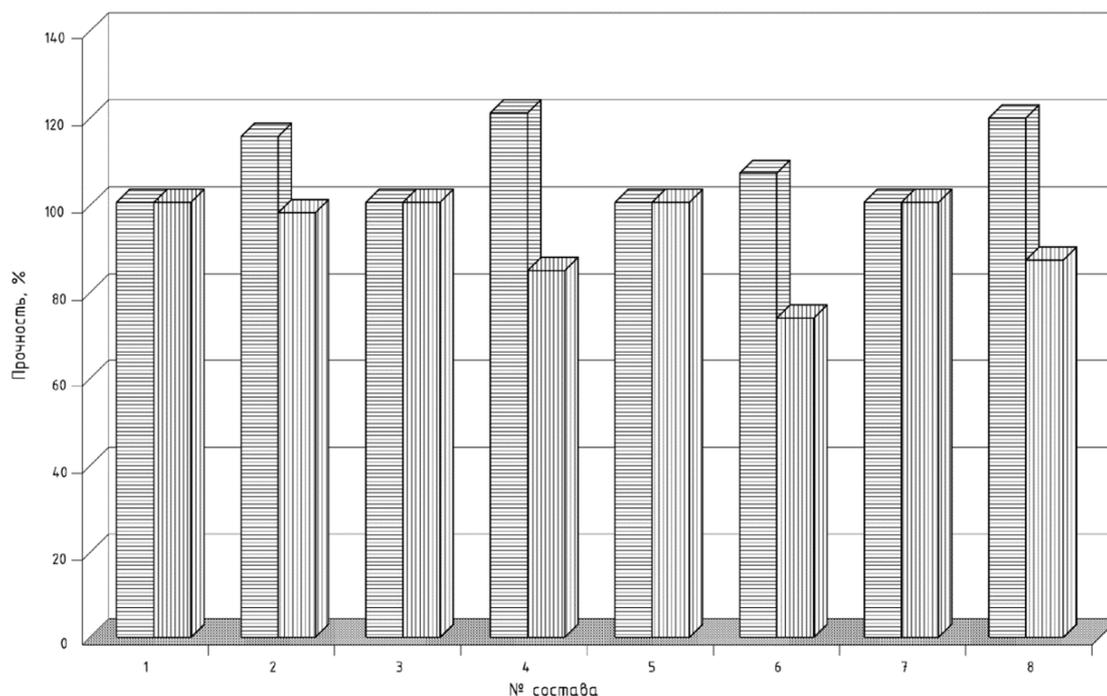


Рисунок 1. – Прочность при сжатии и на растяжение при раскалывании образцов на обычном и кубовидном щебне: ≡ – при сжатии; ||| – при растяжении

Данные, приведенные на рисунке, свидетельствуют о том, что кубовидный щебень наряду с повышением прочности при сжатии уменьшает сопротивление бетона разрушению при раскалывании. Исследования по определению влияния зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы на прочность бетона при растяжении показали, что при увеличении содержания данных зерен сопротивление бетона растяжению возрастает. Можно предположить, что снижение прочности на растяжение при раскалывании вызвано формой зерен кубовидного щебня (низкое содержание зерен пластинчатой и игловатой формы). Прочность при сжатии бетонных образцов на кубовидном щебне возрастает в среднем примерно на 25–30 %, а прочность при растяжении при раскалывании уменьшается на 5–12 %.

Увеличение прочности при сжатии также определяется гранулометрическим составом крупного заполнителя и характеристиками состава бетонной смеси. Не вполне ясной является зависимость сопротивления бетона растяжению при раскалывании от гранулометрического состава крупного заполнителя.

К весьма важным характеристикам качества бетонов относятся эксплуатационные показатели, такие как водонепроницаемость и морозостойкость, которые определяли согласно ГОСТ 12730.5–84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости» и ГОСТ 10060.2–95 «Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многократном замораживании и оттаивании». Для первоначальной оценки эксплуатационных показателей определяли водопоглощение образцов, поскольку оно является косвенной характеристикой водонепроницаемости и морозостойкости бетона. Показатели оценивали по ГОСТ 12730.3–78 «Метод определения водопоглощения» на приборе типа «АГАМА-2р». Результаты по определению водопоглощения, коэффициента сопротивления воздухопроницаемости и ожидаемая морозостойкость и водонепроницаемость образцов восьми составов приведены в таблице 8.

Таблица 8. – Результаты по определению водопоглощения, коэффициента сопротивления воздухопроницаемости и ожидаемой морозостойкости и водонепроницаемости образцов

№ состава	Водопоглощение, масс. %	Коэффициент сопротивления воздухопроницаемости, с/см ³	Морозостойкость, цикл	Водонепроницаемость, МПа
1	5,3	7,3	150	0,6
2	4,7	8,8	150	0,6
3	4,4	10,2	200	0,8
4	4,4	10,5	200	0,8
5	4,8	9,8	200	0,8
6	4,1	12,6	200	0,8
7	6,2	6,2	100	0,4
8	4,9	9,3	150	0,6

Данные таблице 8 позволяют сделать вывод, что использование кубовидного щебня не влияет на морозостойкость и водонепроницаемость бетона. Незначительное различие в показателях водопоглощения и коэффициента сопротивления воздухопроницаемости вызвано нормальной погрешностью при определении контролируемых показателей.

Выводы. На основании результатов экспериментальных исследований рациональной областью применения кубовидного щебня можно считать его использование для изделий и конструкций, работающих в условиях центрального и внецентренного сжатия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старчуков, Д.С. Бетоны ускоренного твердения с добавками твердых веществ неорганической природы / Д.С. Старчуков // Бетон и железобетон. – 2011. – 14.– С. 22–24.
2. Загер, И.Ю. Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождений нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого автономного округа / И.Ю. Загер, А.А. Яшинькина, Л.Н. Андропова // Строительные материалы. – 2011. – № 5. – С. 84–86.
3. Добшиц, Л.М. Определение морозостойкости крупного заполнителя для тяжелых бетонов / Л.М. Добшиц, И.И. Магомедэминов // Бетон и железобетон. – 2012. – № 4. – С. 16–19.
4. Петров, В.П. Пористые заполнители из отходов промышленности / В.П. Петров, С.А. Токарева // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 46–50.