

В заключении отметим, что игнорирование любой из приведенных в диаграмме средств (рис. 1) параметра либо снижает уровень технического совершенства режущих инструментов, либо, обладая правом «вето», вообще не позволяет изготавливать такие инструменты.

ООО НПП «РИТ-Инжиниринг» в настоящее время использует практически все параметры технической совершенной технологической системы и выполняет исследовательские работы по направлениям составляющей 6, показанной выше диаграммы средств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Наука и искусство проектирования: Методы проектирования, научное обоснование решений. (The Science of Engineering Design/ Percy H. Hill)/ Перевод с английского Коваленко Е.Г. под ред. к.т.н. Венды В.Ф. «Мир», Москва, 1973.
2. Всеобщее управление качеством: Учебник для вузов/ О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин; Под. ред. О.П. Глудкина. - М.:Радио и связь, 1999. - 600с.: ил.
3. Истоцкий В.В. Формирование режущей части фасонных борфрез с применением шлифовально-заточных станков с ЧПУ : Дис. канд. техн. наук : 05.03.01 : Тула, 2005 124 с., 61:05-5/4083.
4. Протасьев В.Б., Истоцкий В.В. Проектирование фасонных инструментов, изготавливаемых с

использованием шлифовально-заточных станков с ЧПУ. – М.: ИНФРА –М. 2011 – 128с. – (Научная мысль).

5. Истоцкий В.В., Протасьев В.Б. Проектирование режущей части фасонных инструментов с использованием виртуальных аналогов шлифовально-заточных станков с ЧПУ, основанных на положениях булевой алгебры// Известия ТулГУ. Вып.2: Труды Междунар. юбил. научн.-техн. конф. “Проблемы формообразования деталей при обработке резанием”, посвящ. 90-летию со дня рождения С.И. Лашнева, 29-30 января 2007 г. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006.-(Инструментальные и метрологические системы). с. 170-174.

6. Истоцкий В.В. Протасьев В.Б. Принципы современного проектирования режущей части фасонных инструментов с учетом особенностей их изготовления на заточных станках с ЧПУ //Известия ТулГУ. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. – (Технология машиностроения). – с. 102-107.

7. Истоцкий В.В., Протасьев В.Б. Переточка фасонных режущих инструментов с винтовыми зубьями.// Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения./Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. №3. г. Екатеринбург, 2016. с. 139-142.

УДК 691.32

#### REACTION POWDER CONCRETE IN CONCRETE FILLER

**Shishkin A.**

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technology of building products, materials and structures National University of Krivoy Rog, Kryvyi Rih, Ukraine*

**Khaled E.**

*Graduate student Department of Technology of building products, materials and structures National University of Krivoy Rog, Kryvyi Rih, Ukraine*

#### РЕАКЦИОННЫЕ ПОРОШКОВЫЕ БЕТОНЫ НА КОМПЛЕКСНОМ ЗАПОЛНИТЕЛЕ

**Шишкин А.А.**

*доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных изделий, материалов и конструкций Криворожский национальный университет, г. Кривой Рог, Украина*

**Халид Э.**

*аспирант кафедры технологии строительных изделий, материалов и конструкций, Криворожский национальный университет, г. Кривой Рог, Украина*

#### Abstract

Reactive powder concrete allows creating unique buildings and structures using advanced technologies, for example, 3D construction printing. However, with the increase in prices for traditional filler for construction, there is a need to find ways to use local raw materials for the production of concretes, including reactive powders. The results of the research showed that the use as a fine aggregate of reactive powder concretes of a mixture of river and man-made sand containing iron compounds makes it possible to increase the strength of these concrete during compression by 30-200%.

#### Аннотация

Реакционные порошковые бетоны позволяют создавать уникальные здания и сооружения с использованием передовых технологий, например, строительную 3D-печать. Однако с ростом цен на традиционный наполнитель для строительства существует потребность в изыскании приемов использования местного сы-

рья для производства бетонов, в том числе и реакционных порошковых. Результаты исследований показали, что применение в качестве мелкого заполнителя реакционных порошковых бетонов смеси речного и техногенного песка, содержащего соединения железа, позволяет повысить прочность данных бетонов при сжатии на 30-200%.

**Keywords:** Reactive powdered concrete, river sand, iron compounds, strength, fine aggregate, man-made sand

**Ключевые слова:** Реакционный порошковый бетон, речной песок, соединения железа, прочность, мелкий заполнитель, техногенный песок

### ВВЕДЕНИЕ

Реакционные порошковые бетоны, полученные в конце 20-го века, являются бетонами нового поколения, обладающими целым рядом специфических свойств, позволяющих создавать уникальные здания и сооружения с использованием передовых технологий, например, строительную 3D-печать. Данные бетоны изготавливаются без применения крупного заполнителя, в связи с этим увеличивается потребность в мелком заполнителе. Однако с ростом цен на песок для строительства существует потребность в изыскании экономичных и рациональных приемов использования местного сырья для производства бетонов, в том числе и реакционных порошковых. Дополнительным, усугубляющим фактором, склоняющим к этим решениям является постоянно увеличивающиеся затраты на транспортирование материалов и сырья к месту строительства.

Другой проблемой, сдерживающей широкое распространение перспективной технологии строительной 3D-печати, является необходимость получения реакционных порошковых бетонов высокой прочности без применения таких технологических приемов, как виброуплотнение и прессование, а также без применения специальных модификаторов – химических веществ-ускорителей твердения цемента.

#### Анализ последних публикаций по проблеме.

В настоящее время наиболее широко распространены материалами техногенного происхождения, которые имеют фракционный состав, отвечающий мелкому заполнителю бетонов, являются отходы горно-обогатительных комбинатов (так называемые «хвосты» обогащения железных руд). Эти отходы используются, как для дополнительного извлечения полезных компонентов, так и в качестве одного из компонентов сложного вяжущего [1,2] или мелкого заполнителя [2-6].

Исследования, проведенные Г.В. Пухальским и Г.Н. Бондаренко [3], явились основой для использования отходов обогащения железных руд в качестве мелких заполнителей бетона и дальнейших исследований в этом направлении [4-8].

Основными результатами, полученными в работе [3], использованными и подтвержденными в остальных работах, является следующее:

1. Замена речного песка на отходы обогащения железных руд, освобожденных от фракции менее 0,14 мм, в качестве заполнителей бетона приводит к повышению его прочности на 15%.

2. По мере замены части речного песка на отходы обогащения железных руд, освобожденных от

фракции менее 0,14 мм, происходит повышение прочности бетона.

3. Прочность бетона на отходах обогащения железных руд, освобожденных от фракции менее 0,14 мм, естественного твердения выше прочности такого же бетона, подвергнутого тепловой обработке.

4. Введение в бетон в качестве добавки тонкодисперсной части (фракции менее 0,14 мм) отходов обогащения железных руд в количестве 5-15% приводит к повышению его прочности на 5-20%.

5. Введение в бетон на портландцементе в качестве добавки тонкодисперсной части отходов обогащения железных руд (фракции менее 0,14 мм) приводит к повышению его прочности на 6%, а бетона на шлакопортландцементе на 88%.

6. Для улучшения технологических свойств бетонных смесей на основе отходов обогащения железных руд в них следует вводить микрозаполнители в виде тонкодисперсной части отходов обогащения железных руд (фракции менее 0,14 мм).

7. Содержание оксидов железа в отходах обогащения железных руд в количестве 6-15% не влияет на удобоукладываемость бетонной смеси и прочность при сжатии бетона.

Кроме того, следует отметить, что исследования [3] проведены для бетонов на крупном заполнителе и не могут быть распространены на мелкозернистые бетоны.

В последующих исследованиях бетонов с использованием отходов обогащения железных руд, опираясь на результаты исследований [3], их применяли в качестве мелкого заполнителя полностью заменяя речной песок.

Анализ приведенных выше результатов исследований показал:

- нет особого смысла во фракционировании отходов обогащения железных руд (т.е. выделения из них фракции менее 0,14 мм) если осуществлять частичную замену речного песка на нефракционированные отходы обогащения железных руд;

- применение отходов обогащения железных руд в качестве мелкого заполнителя или его части наиболее эффективно в бетонах на основе шлакопортландцемента или портландцементов с высоким содержанием доменного гранулированного шлака;

- отсутствуют исследования мелкозернистых бетонов, на основе смешанного мелкого заполнителя, в котором одну его часть составляют отходы обогащения железных руд, а другую – речной песок.

Целью исследований является повышение прочности при сжатии реакционных порошковых

бетонов за счет использования комплексного заполнителя, состоящего из смеси речного песка и техногенного песка.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В исследованиях для изготовления бетона использовали портландцемент М400 (ПАТ «Хайдельберг цемент Кривой Рог»), мелкий заполнитель - отходы обогащения железных руд Новокриворожского горно-обогатительного комплекса ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог» (Украина), имеющие максимальный размер частиц 0,63 мм. и днепропетровский речной песок. Компоненты бетонной смеси дозировали в необходимых, согласно плана эксперимента, количествах, перемешивали в лабораторном смесителе в течение 3 мин.

Полученная смесь укладывалась в металлическую форму-куб, имеющий размер сторон 7 см. Форму, содержащую бетонную смесь жестко закрепляли на лабораторной виброплощадке и уплотняли вибрированием до полного уплотнения, которое характеризовалось прекращением оседания бетонной смеси и прекращением выделения пузырьков воздуха. После завершения укладки и уплотнения бетонной смеси в форме открытую поверхность образца заглаживали кельмой.

Первые 24 часа образцы бетона твердели в нормальных условиях, при этом их до распалубки хранили в формах, покрытых влажной тканью. Это исключало возможность испарения из них влаги в помещении с температурой воздуха  $(293 \pm 5)$  К. Через 24 часа после изготовления образцы бетона вынимали из форм. После распалубки образцы помещали в камеру, которая обеспечивала у их поверхности нормальные условия, то есть температуру

$(293 \pm 3)$  К и относительную влажность воздуха  $(95 \pm 5)\%$ . В камере образцы укладывали на подкладки так, чтобы расстояние между ними, а также между образцами и стенками камеры было не менее 5 мм. Площадь контакта образца с подставками, на которые он установлен, не превышала 30% площади опорной грани образца.

Основным показателем качества исследуемого бетона была принята его предел прочности при сжатии. Определение прочности образцов осуществляли с помощью универсальной испытательной машины УММ-100.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований влияния содержания отходов обогащения железных руд в составе мелкого заполнителя реакционных порошковых бетонов показали, что имеется их оптимальное содержание в заполнителе (рис. 1,2) не зависимо от водоцементного отношения в бетоне и содержания тонкодисперсной части в отходах обогащения железных руд.

При этом, чем выше содержание заполнителя в бетоне, тем более выражено влияние содержания в нем отходов обогащения железных руд.

Влияние водоцементного отношения в бетоне не однозначно сказывается на прочности бетона. Так, при применении неклассифицированных отходов обогащения железных руд, с уменьшением водоцементного отношения в бетоне увеличивается влияние отходов (рис. 2). А при применении классифицированных отходов обогащения железных руд (удалением фракции менее 0,14 мм), с уменьшением водоцементного отношения в бетоне влияние отходов уменьшается (рис. 3).

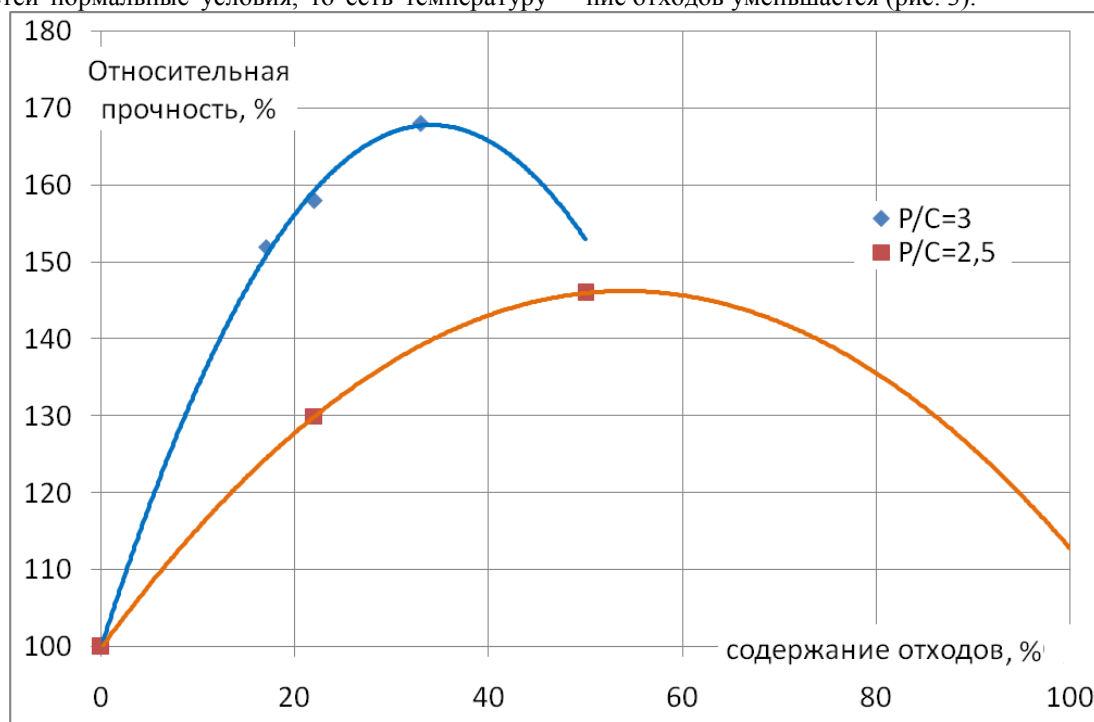


Рис. 1. Влияние содержания отходов обогащения железных руд в заполнителе на прочность бетона ( $B/C=0,5$ ;  $P/C$  – отношение массы мелкого заполнителя к массе цемента)

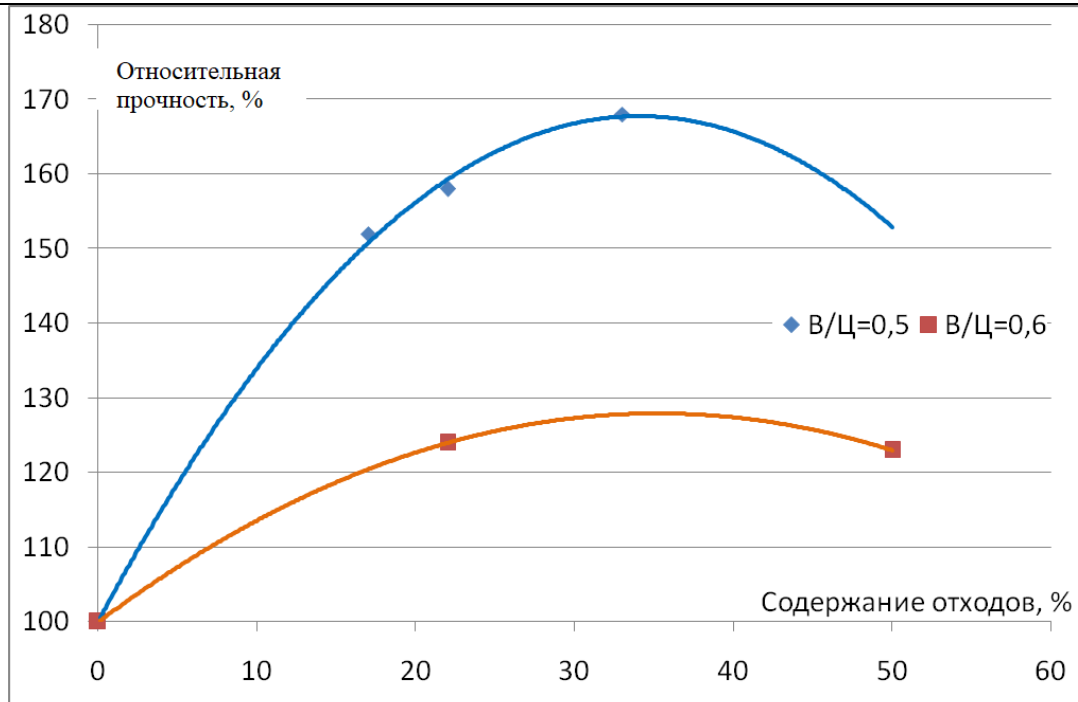


Рис. 2. Влияние содержания отходов обогащения железных руд в заполнителе на прочность бетона ( $P/C = 3,0$  – отношение массы мелкого заполнителя к массе цемента)

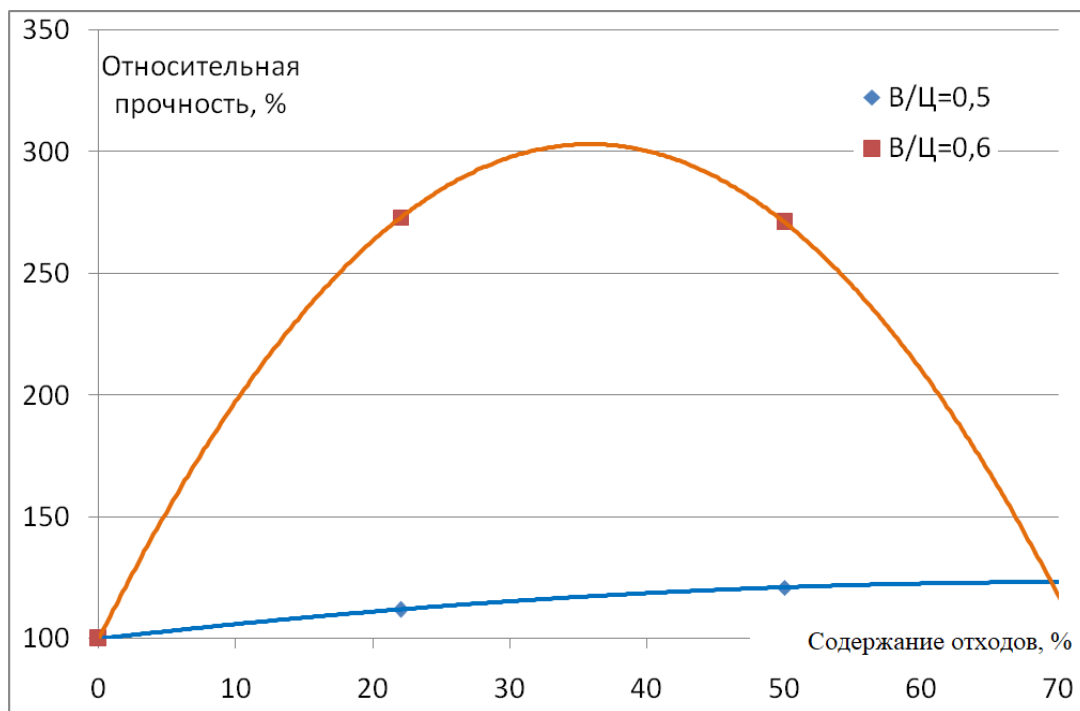


Рис. 3. Влияние содержания классифицированных отходов обогащения железных руд в заполнителе на прочность бетона (фракция менее 0,14 мм удалена)

В то же время, классифицированные отходы обогащения железных руд (с удаленной фракцией менее 0,14 мм) обеспечивают больший прирост прочности бетона при сжатии, который достигает 300% (рис. 4).

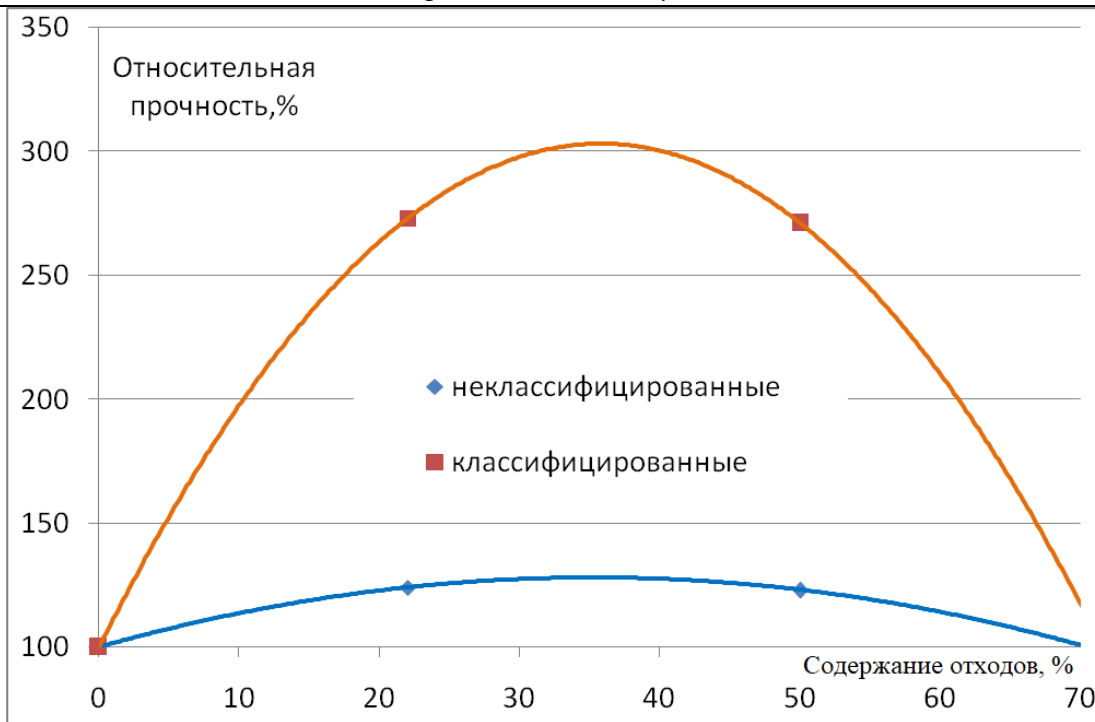


Рис. 4. Влияние классифицирования отходов обогащения железных руд (удалением фракции менее 0,14 мм), примененных в качестве заполнителя бетона на его прочность

### ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение в качестве мелкого заполнителя реакционных порошковых бетонов смеси речного песка и техногенного песка, содержащего соединения железа, позволяет повысить прочность данных бетонов при сжатии на 30-200%.

2. Оптимальное содержание техногенного песка, содержащего соединения железа, в заполнителе зависит от его содержания в бетоне. С увеличением содержания заполнителя в бетоне уменьшается оптимальное содержание техногенного песка, содержащего соединения железа, в заполнителе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Резниченко, П. Т. Охрана окружающей среды и использование отходов промышленности / П. Т. Резниченко, А. П. Чехов. – Днепропетровск: Промінь, 1973. – 94 с.
2. Шишкин А.А. Щелочные реакционные порошковые бетоны / А.А. Шишкин // «Строительство уникальных зданий и сооружений». – 2014 – 2(17). – С. 56-65.
3. Пухальский Г. В. Свойства бетонов на песках из отходов горно-обогатительных комбинатов /

Г.В. Пухальский, Г.Н. Бондаренко // Бетон и железобетон. 1975. - № 5. – С. 26-28.

4. Конструкции из бетонов на отходах обогащения железных руд / Б.Н. Шевченко. – К.: Выща шк. 1989. – 192 с.

5. Шишкин А.А. Особенности использования отходов горно-обогатительных комбинатов в производстве строительных материалов / А. А. Шишкин, А. А. Шишкина, В. В. Щерба // Вісник ДНАБА. 2013. - 1(99). – С. 8-12.

6. Вандоловский А. Г. Міцнісні властивості особливо дрібнозернистого бетону на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів у ролі заповнювача / А.Г. Вандоловский, В.М. Чайка // Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2016. – вып. 160. – С. 17-24.

7. Шалтабаева С. Т. Бетоны и вяжущие с использованием активизированных отходов горно-обогатительных комбинатов / Шалтабаева Салтанат Турарбековна Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Алматы, 2010. - 21 с.

8. Рахимова Г.М. Песок и щебень из отходов обогащения железной руды для мелкозернистого бетона / Г.М. Рахимова, Д.М. Тажибаева, А.О. Икишева и др. // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (часть 11) – С. 2445-2449.