

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНОГО МЕСТНОГО КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ

Алиев С.А.,
Абумуслимов А.С.,
Муртазаева Р.С-А.,
Хамидов М.А.

ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, г. Грозный

В работе представлены результаты сравнительных испытаний влияния природного местного крупного заполнителя на основные свойства высокопрочных бетонов. Рассмотрены простейшие малоэнергоёмкие технологические приемы обогащения местного щебня из гравия для повышения его марки дробимости в цилиндре с М1000 до М1200, позволяющие использовать такой щебень в бетонах более высоких классов по прочности на сжатие.

Ключевые слова: природное и техногенное сырьё, бетоны, сравнительные испытания, прочность щебня, обогащение заполнителя

По классической теории до последнего времени считалось, что прочность бетона во многом зависит от прочности заполнителя, применяемого при его получении [1]. Было установлено, что каждый заполнитель позволяет получать бетон только до определенной прочности, по достижению которой использование различных приемов повышения прочности бетона, таких как, например, снижение В/Ц, увеличение расхода цемента и др., не приводит к заметному росту прочности и малоэффективны, поскольку после наступления такого момента заполнитель просто разрушается в бетоне. Это явление, впервые изученное 1954 году проф. А.И. Вагановым, легко наблюдать в бетонах на пористых заполнителях (рисунок 1) [2]. Так, проф. А.И. Ваганов условно делит область зависимости прочности бетона от прочности его растворной части, исследованную на керамзитовом заполнителе, на зоны: наиболее экономичные составы (зона I), менее экономичные составы (зона II) и неэкономичные составы (зона III).

Позже профессор Ю.М. Баженов [3] получил зависимости прочности тяжелого бетона от прочности применяемого заполнителя и растворной части (рисунок 2).

В зависимости $R_B = f(R_P)$ проф. Ю.М. Баженов выделяет две зоны – это зона I, где повышение прочности растворной части способствует к возрастанию прочности самого бетона, хотя в несколько меньшей степени чем при применении прочных плотных заполнителей и зона II, где повышение прочности раствора не приводит к существенному улучшению прочностных

показателей бетона, поскольку заполнитель с невысокой прочностью и тонкий цементный каркас с определенной хрупкостью этому препятствуют. Получение бетонов в зоне II с дальнейшим повышением прочности раствора экономически нецелесообразно и порой даже невозможно, так как в равноподвижных бетонных смесях улучшение прочностных показателей бетона достигается за счет увеличения доли вяжущего [4-6].

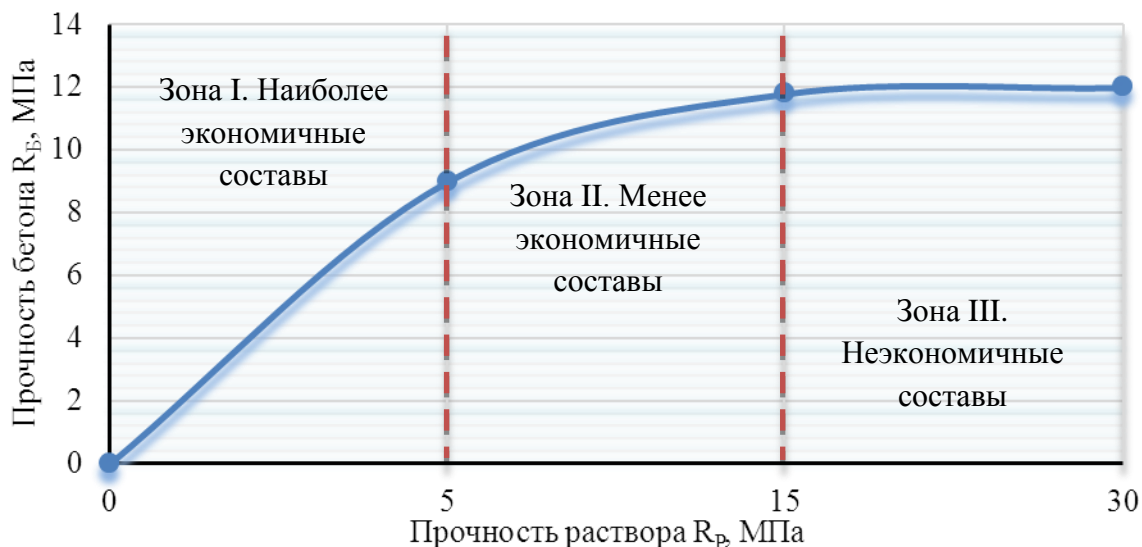


Рис. 1 – Зависимость прочности бетона R_B от прочности раствора R_p (по данным проф. А.И. Ваганова)

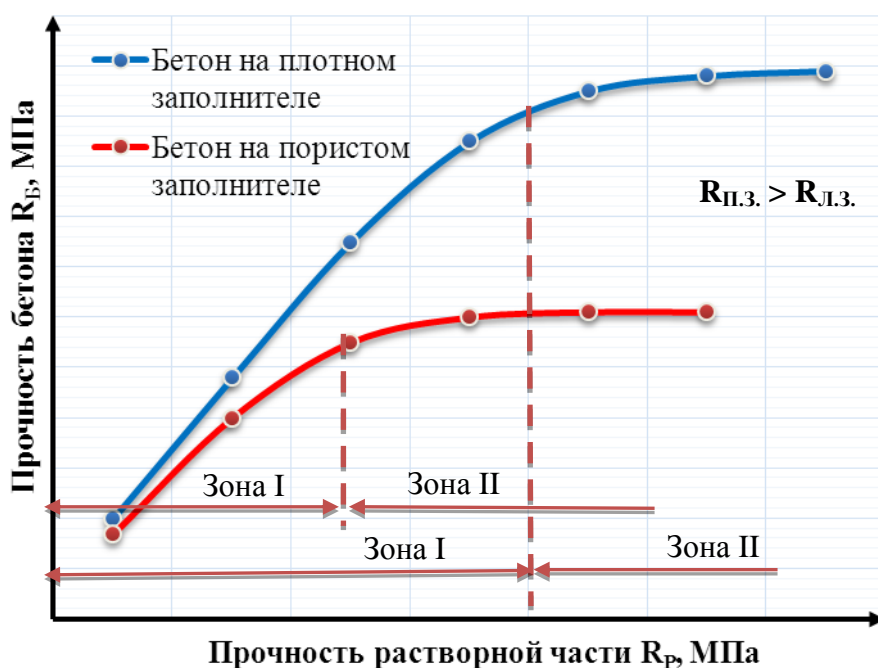


Рис. 2 – Обобщенная зависимость прочности заполнителя и раствора на прочность бетона: I – зона возрастания прочности бетона; II – зона максимальной прочности бетона; $R_{п.з.}$ и $R_{л.з.}$ – прочность плотного и легкого заполнителя соответственно (по данным проф. Ю.М. Баженова)

Таким образом, при классическом подходе для получения бетона разных марок следует подбирать заполнитель соответствующей прочности, чтобы

обеспечить рациональное использование самого дорого компонента бетона – вяжущего, т.е. получить бетоны, соответствующие зоне I.

Результаты сравнительных испытаний крупного заполнителя в высокопрочных бетонах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные испытания крупного заполнителя в высокопрочных бетонах

№ состава	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг										Проектный класс (марка) бетона	Характер разрушения
	Щ			П		Ц			В	Д		
	Аргунский	Серноводский	Алагирский	Червленский	Алагирский	ПЩ М500 ДО ГУП «Чеченцемент»	НВ-60:40	НВ-75:25				
1.	1200	-	-	515	-	490	-	-	182	4,9	В40 (М500)	По цементному камню
2.	-	1200	-	515	-	490	-	-	180	4,9		То же
3.	-	-	1200	515	-	490	-	-	180	4,9		То же
4.	-	-	1200	-	530	484	-	-	176	4,8		То же
5.	1220	-	-	470	-	535	-	-	186	5,3	В45 (М600)	То же
6.	-	1220	-	470	-	535	-	-	184	5,3		То же
7.	-	-	1220	470	-	535	-	-	184	5,3		То же
8.	-	-	1220	-	480	530	-	-	180	5,3		То же
9.	1240	-	-	460	-	-	540	-	173	2,2	В55 (М700)	По заполнителю
10.	-	1240	-	460	-	-	540	-	172	2,2		Смешанное разрушение
11.	-	-	1240	460	-	-	540	-	172	2,2		То же
12.	-	-	1240	-	465	-	538	-	169	2,1		То же
13.	-	1260	-	445	-	-	-	560	168	2,2	В60 (М800)	По заполнителю
14.	-	-	1260	445	-	-	-	560	166	2,2		По цементному камню
15.	-	-	1260	-	450	-	-	560	163	2,2		То же

В составах применялась добавка «Динамикс ПК» в бетонных смесей на ПЩ в количестве 1,0 % от массы цемента, в бетонных смесях на наполненных вяжущих (НВ) – количестве 0,4 % (поскольку в НВ уже имеются ПАВ в виде добавки Д-5). При этом указанные смеси были подобраны равноподвижные.

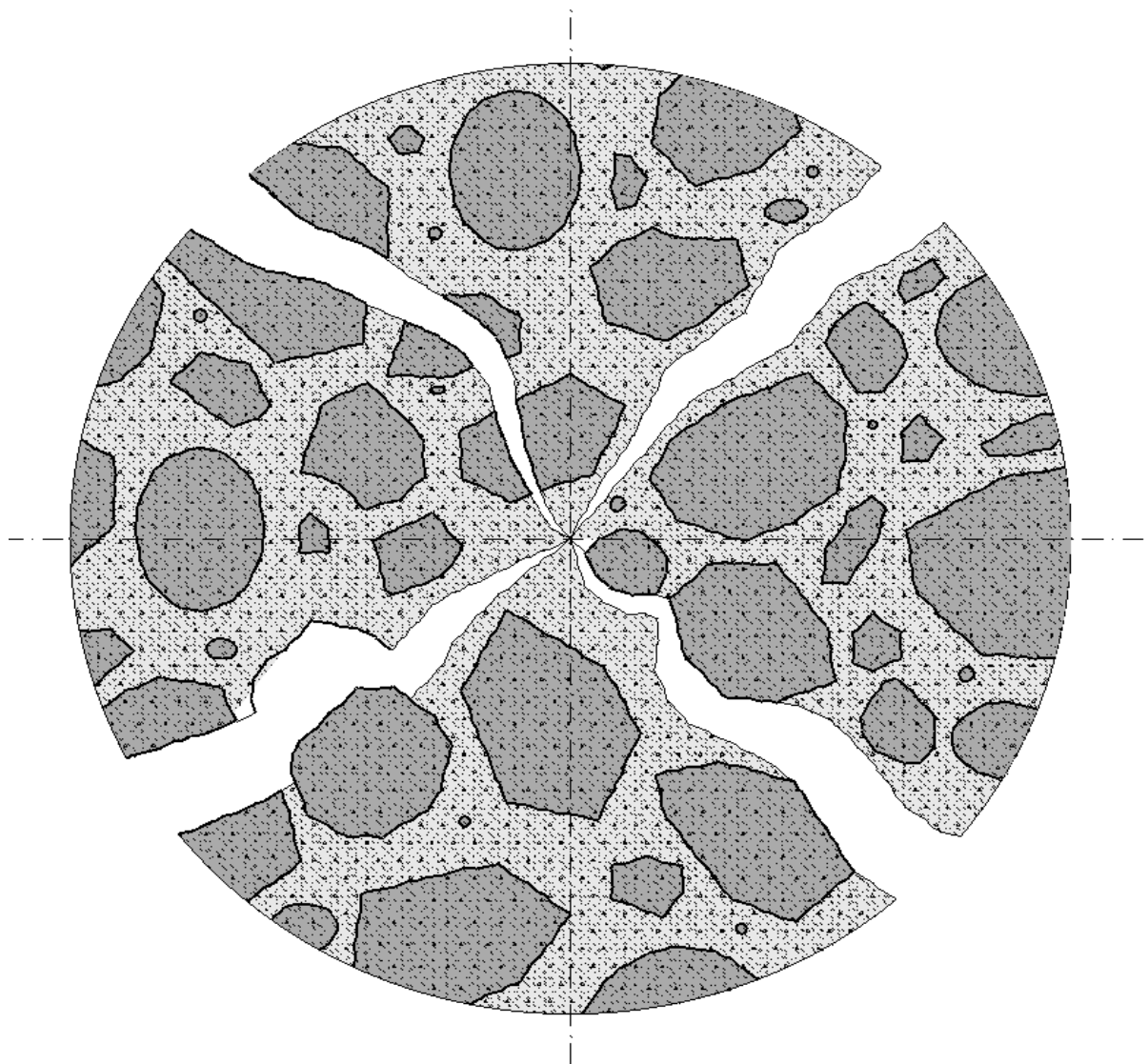
Анализ таблицы 1 показывает, что с использованием местного крупного заполнителя Аргунского и Серноводского месторождений возможно получение бетонов классов по прочности на сжатие не выше В45 и В55 соответственно.

В бетонах более высоких классов указанный крупный заполнитель разрушается при испытаниях на сжатие, т.е. разрушение бетона происходит по заполнителю (рисунок 3). Это свидетельствует о том, что прочность заполнителя ниже прочности растворной части. Бетон класса В60 получен на привозном высокопрочном заполнителе из гранитно-диабазовых пород с маркой по дробимости в цилиндре М1200-М1400. Использование местного мелкого заполнителя Червленского месторождения возможно в бетонах как средних, так и высоких классов.

Получение бетонов более высоких классов на местных крупных заполнителях Аргунского и Серноводского месторождений без их обогащения экономически не целесообразно, поскольку в высокопрочных бетонах на их основе приходится перерасходовать вяжущим, что подразумевает получение бетонов в зоне II (см. рисунок 2). Разрушение бетона по заполнителю происходит из-за наличия слабых зерен в щебне Аргунского и Серноводского месторождений в количестве до 10 % по массе.

Испытания местного щебня из гравия Аргунского и Серноводского месторождений путем их термической обработки показали наличие в их составе известняковых включений, разлагающихся при температуре 900-1000 °С на оксид кальция (СаО) и углекислый газ, в количестве до 30 % по массе. Однако, при сравнении щебня из гравия Аргунского и Серноводского месторождений между собой, показывает преимущество Серноводского заполнителя, поскольку разрушение его в бетоне В55 носит более «смешанный характер» (рис. 3), когда бетон на Аргунском щебне класса даже В45 разрушается по заполнителю, что свидетельствует менее прочную структуру такого заполнителя.

Обогащение местного щебня из гравия термическим способом с целью отделить из его состава слабых известняковых зерен довольно сложная, энерго- и трудозатратная задача. К тому же себестоимость обогащенного таким образом заполнителя будет заметно выше в сравнении с привозным высокопрочным природным заполнителем, что исключает возможность применения данной технологии для его обогащения. Поскольку, подобные затраты должны быть несомненно сопоставлены с получаемым экономическим эффектом от снижения расхода вяжущего, улучшения прочностных показателей бетона, его однородности и т. д.



a)

б)

**РАЗРУШЕНИЕ ПО ЗАПОЛНИТЕЛЮ ПО ЦЕМЕНТНОМУ
КАМНЮ ПО КОНТАКТНОЙ ЗОНЕ СМЕШАННОЕ
РАЗРУШЕНИЕ**

Рис. 3 – Характер разрушения бетона [2]: а – разрушение по заполнителю ($R_3 < R_{ц.к.} \leq R_{к.з.}$); б – по цементному камню ($R_{ц.к.} < R_{к.з.} \leq R_3$); в – по контактной зоне заполнителя и цементного камня ($R_{к.з.} < R_{ц.к.} \leq R_3$); г – смешанное разрушение ($R_{к.з.} = R_{ц.к.} = R_3$); R_3 – прочность заполнителя; $R_{ц.к.}$ – прочность цементного камня; $R_{к.з.}$ – прочность контактной зоны заполнителя и цементного камня

В стройиндустрии известны другие малоэнергоёмкие технологические приемы, к которым относится и обогащение заполнителя с применением различных сепараторов. Такие приемы обогащения заполнителя можно внедрить косвенно несколькими способами: разделением по упругим свойствам, трению, плотности зерен и т.д.

Авторы работ [7,8] для улучшения качества заполнителя рекомендуют технологию сортировки зерен по прочности сырья, из которого они образованы.

Одним из менее трудоемких технологий обогащения заполнителя считается разделение его зерен по их упругому отскоку от твердой поверхности (рисунок 4).

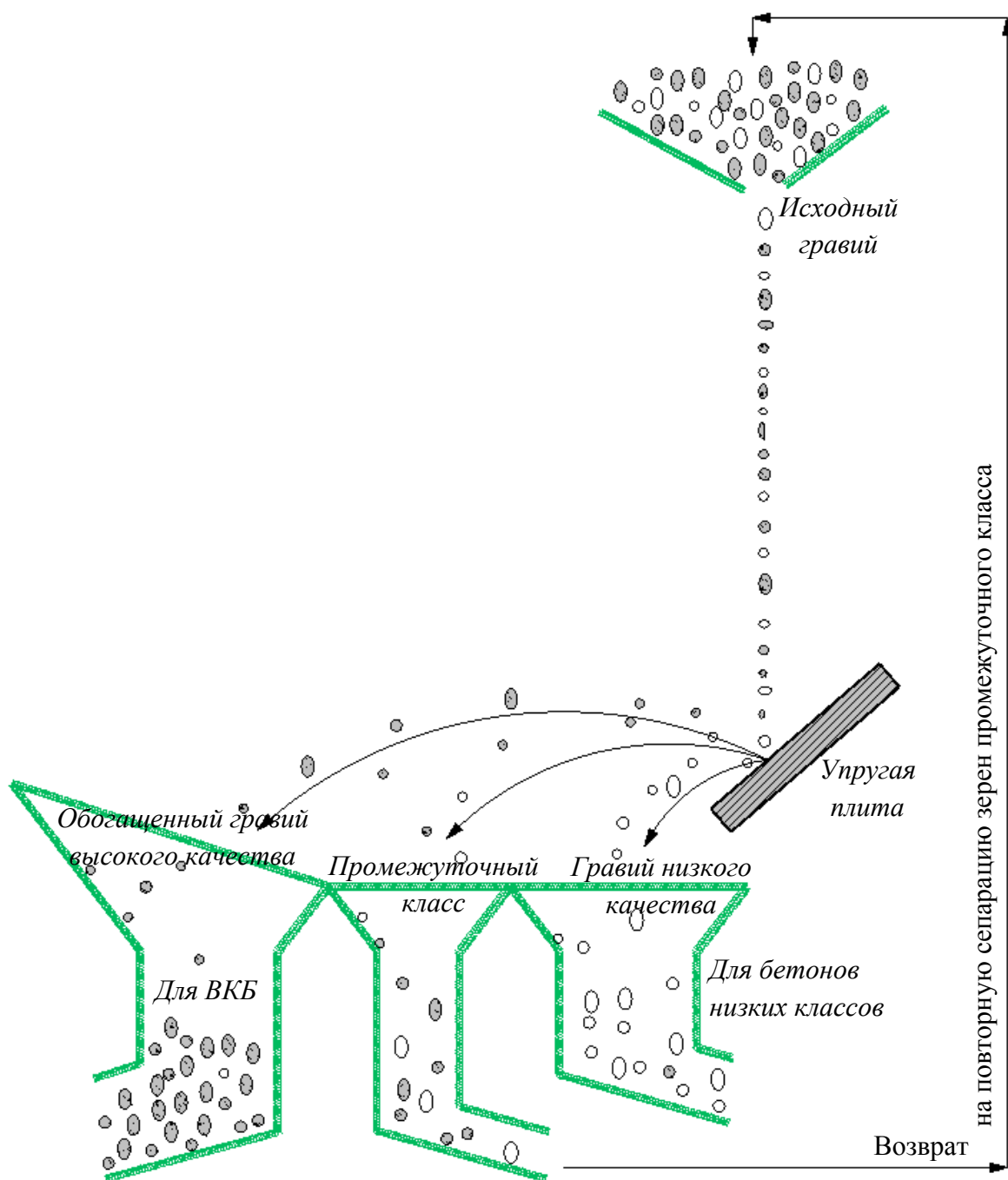


Рис. 4 – Сепарация щебня по упругим свойствам зерен

Сортировка щебня считается, как правило, более трудоемкой задачей в виду того что его зерна имеют более шероховатую и неправильную форму в сравнении с гравием, имеющим круглую и окатанную поверхность. Из-за неправильной формы щебня может меняться траектория полета зерен при его упругом отскоке в зависимости от угла падения. Поэтому, нами предусмотрено сортировать не щебень, а гравий, из которого получают применяемый нами «щебень из гравия».

Принцип действия таких сортировочных машин прост. На поверхности диска питателя в один слов распределяются сортируемые зерна гравия, которые свободно падают на специальную наклонно установленную плиту. При ударе о плите сортируемый гравий отскакивает на определенное расстояние в зависимости от твердости зерна, который собирается в определенных бункерах. Их могут быть 2, 3 и более. В самом дальнем бункере собираются наиболее твердые фракции гравия, в самом близком – менее прочные. Предусмотрены также средний бункер, где собираются зерна гравия с промежуточным классом по прочности, возвращаемые на повторный круг для обогащения. Соответственно, отсортированный по твердости и прочности зерна гравия применяются для получения щебня соответствующих марок по дробимости в цилиндре.

Таким образом, такая несложная технология сортировки гравия по прочности зерен даст возможность использовать полученные более прочную и менее прочную фракции щебня в бетонах в зависимости от их функционального назначения: менее прочный щебень – в низкомарочных бетонах для неответственных конструкций, а прочный – в высококачественных бетонах для ответственных конструкций (в большепролетных, высотных и др.).

Более прочный заполнитель, характеризующийся маркой по дробимости М1200 и выше, применяют для получения высокопрочных бетонов.

Применение данных способов обогащения достаточно эффективны и промышленный опыт это подтверждает [2,9-13]. Известны также способы обогащения сыпучего материала, основанные на различных значениях сил трения отдельных зерен, свободно скользящих по наклонным плоскостям, устанавливаемым немножко круче угла естественного откоса обогащаемого сырья (рисунок 5). Из-за различной скорости движения зерен по специально установленной наклонной плите, материал сортируется в соответствующие бункера в зависимости от их плотности и прочности.

Находит применение и барабанный сепаратор, предложенный НИИЖБ, принцип действия которого заключается в сортировке зерен как по силе трения, так и по упругим свойствам (рисунок 6). Зерна обогащаемого материала, падая с определенной высоты на вращающийся барабан, отскакивают дальше в бункер для более прочных зерен, а менее твердые – уносятся барабаном в его сторону вращения и собираются в другом бункере.

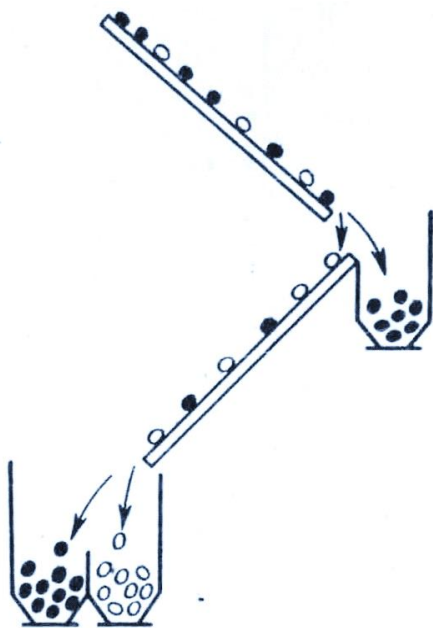


Рис. 5 – Сортировка гравия по скорости движения зерен

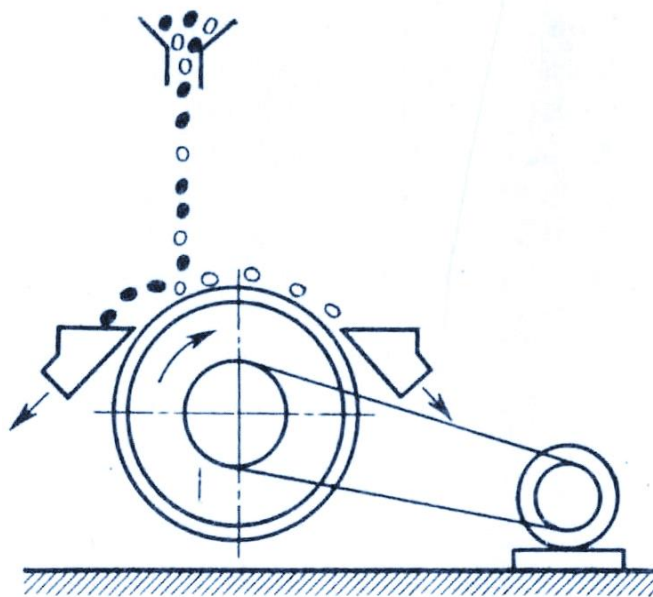


Рис. 6 – Сепаратор барабанный для сортировки гравия

Обогащение в лабораторных условиях гравия Серноводского месторождения для получения щебня позволило нам повысить его марку по дробимости в цилиндре с М1000 до М1100-М1200, что позволяет использовать такой щебень в бетонах высоких классов.

Таким образом, установлено, что существуют простейшие способы получения более прочного местного заполнителя для изготовления высококачественных бетонов (ВКБ).

Определены области рекомендуемых и максимально возможных классов бетонов для использования в них необогащенного местного сырья.

Предложены современные малоэнергоёмкие технологические приемы обогащения местного щебня из гравия для повышения его марки дробимости в цилиндре с М1000 до М1200, позволяющие использовать такой щебень в бетонах более высоких классов по прочности на сжатие.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-48-200001.

Список литературы

1. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. -М.: Изд-во АСВ, 2007. - 526 с.
2. Муртазаева, Т.С-А. Высокопрочные бетоны на основе вторичного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук /Т.С-А. Муртазаева – Грозный: - 2018. – 24 с.
3. Alekseev, V.A. Modified binder for sprayed concrete / V.A. Alekseev, Yu.M. Bazhenov, S.I. Bazhenova, O.Yu. Bazhenova, N.A. Golovashchenko, N.S.

Mironchuk // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. -№ 5 (1005). -С. 18-19.

4. Каприелов, С.С. Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, В.Г. Дондуков // Строительные материалы. 2017. -№ 11. -С. 4-10.

5. Murtazaev S.-A.Yu. High-quality concrete for the device of the bearing monolithic structures of buildings and structures / S.-A.Yu. Murtazaev, M.S. Saidumov, A.Kh. Alaskhanov, M.R. Nakhaev // В сборнике: Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. -С. 481-485.

6. Лесовик, В.С. Состояние и перспективы использования техногенного сырья / В.С. Лесовик // Научные и инженерные проблемы строительнотехнологической утилизации техногенных отходов: материалы конференции. БГТУ им. В. Г. Шухова, 15-23 марта 2014 г. Белгород. 2014. –С.17-21.

7. Чумаков, Л.Д. Технология заполнителей бетона [Электронный ресурс] / Л.Д. Чумаков. - 2-е изд., исправленное и дополненное. - М.: Издательство АСВ, 2011. - 264 с.

8. Брагина, В.И. Технология обогащения и переработки неметаллических полезных ископаемых [Текст] / В.И. Брагина. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 228 с.

9. Bataev, D.K.-S. Utilization of cement kiln dust in production of alkali-activated clinker-free binders / D.K.-S. Bataev, M.Sh. Salamanova, S.A.Yu. Murtazaev, S.S. Viskhanov // В сборнике: Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. -С. 457-460.

10. Капустин, Ф.Л., Пономарев, В.Б. Получение обогащенного песка из отсеков дробления горных пород на пневматическом классификаторе // Обогащение руд. 2016. -№ 4 (364). -С. 56-60.

11. Saidumov, M.S. Regulation of persistence (viability) of concrete mixtures using modern plasticizing agents / M.S. Saidumov, A.Kh. Alaskhanov, T.S.-A. Murtazaeva [и др.] // В сборнике: Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. -С. 486-490.

12. Олейник, П.П., Олейник, С.П. Организация системы переработки строительных отходов. - М.: МГСУ, 2009. - 251 с.

13. Salamanova, M.Sh. Features of production of fine concretes based on clinkerless binders of alkaline mixing / M.Sh. Salamanova, S.-A.Yu Murtazaev., Z.Kh. Ismailova [и др.] // В сборнике: 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) Сер. "Springer Proceedings in Earthand Environmental Sciences" 2019. -С. 385-388.