**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕСТНОГО И ПРИВОЗНОГО КРУПНОГО
ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ В БЕТОНАХ РАЗНЫХ КЛАССОВ**
**COMPARATIVE TESTS OF LOCAL AND TRANSPORTED LARGE AGGREGATE FOR
COMPRESSION STRENGTH IN CONCRETE OF DIFFERENT CLASSES**

^{1,2}Муртазаева Т.С.-А., ^{1,2}Сайдумов М.С., ¹Джандаров А.Ш., ³Абдрахманова Д.Х.-Б.
^{1,2}Murtazaeva T.S.-A., ^{1,2}Saidumov M.S., ¹Dzhandarov A.Sh., ³Abdrakhmanova D.Kh.-B.

¹ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, г. Грозный

²АН ЧР, г. Грозный, Россия

³Студент института строительства, архитектуры и дизайна, ГГНТУ
им. акад. М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, Россия

¹Grozny State Oil Technical University named after acad. M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia

²Academy of Sciences, Grozny, Russia

³Student at the Institute of Construction, Architecture and Design, Grozny State Oil Technical
University named after acad. M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia

Аннотация. Результаты сравнительных испытаний местного и привозного крупного заполнителя на прочность при сжатии в бетонах разных классов. Проанализирован характер разрушения бетона. Представлены некоторые пути решения проблемы обогащения крупного заполнителя.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-48-200001.

Abstract. Results of comparative tests of local and imported coarse aggregate for compressive strength in concretes of different classes. The nature of concrete destruction is analyzed. Some ways of solving the problem of coarse aggregate enrichment are presented.

This work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in scientific project No. 18-48-200001.

Ключевые слова: местное сырье, обогащение, классификация заполнителя, высокопрочные бетоны, привозные сырьевые материалы.

Keywords: local raw materials, beneficiation, aggregate classification, high-strength concretes, imported raw materials.

Как известно, строительные материалы гидратационного твердения в виду уникальности свойств, простоте технологии их изготовления и высокой долговечности находят широкое применение в строительстве. В настоящее время отечественными учеными разработаны и внедрены сотни разновидностей указанных композиционных материалов – от особо легких до высокопрочных композитов широкого функционального назначения. Однако, несмотря на высокую степень изученности технологий бетона и строительного раствора, вопросы энерго- и ресурсосбережения, оптимизации и повышении эффективности составов, снижении себестоимости продукции и т.д. требуют внимания и остаются актуальными. Одним из способов снижения себестоимости, как известно, является комплексное использование местного природного и техногенного сырья. Для этого в первую очередь необходимо исследовать влияние вида, формы и природы происхождения заполнителя, поскольку согласно классической теории прочности бетона, последняя напрямую зависит от физико-механических показателей используемого заполнителя [1,2].

Многочисленные исследования показывают, что конкретный вид заполнителя позволяет получить бетон только до определенной прочности, по достижению которой сам заполнитель уже в бетоне разрушается. То есть, не смотря на высокую прочность цементного камня, наблюдается картина разрушения бетона по заполнителю. Такие технологические приемы, позволяющие повысить прочность бетона, как снижение В/Ц, увеличение доли вяжущей части

и так далее, не способствуют росту физико-механических характеристик бетона, поскольку прочность бетона складывается не только из прочности цементного камня, но и прочности заполнителя, контактной зоны и т.д. Поэтому при использовании слабых (неподходящих) заполнителей выше перечисленные приемы малоэффективны, а в некоторых случаях вовсе не эффективны.

Это явление, которое показывает разрушение бетона по заполнителю, впервые изучено в 1954 году профессором А.И. Вагановым. Еще тогда им представлена классическая зависимость прочности бетона от прочности заполнителя, представленная на рисунке 1. Данное явление легко наблюдать при использовании пористых заполнителей в легких бетонах. На основании экспериментальных данных профессором А.И. Вагановым определены рекомендуемые и не рекомендуемые области получения легких бетонов. На рисунке 1 эти области представлены в виде зон: зона I - наиболее экономичные составы, зона II - менее экономичные составы и зона III - неэкономичные составы.

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

Известный отечественный ученый - профессор Ю.М. Баженов [3,4] также исследовал факторы, влияющие на прочность бетона в целом, среди которых особое внимание уделял получению зависимостей прочности тяжелого и легкого бетонов R_B от прочности используемого заполнителя и цементной (растворной) матрицы R_p (рисунок 2), а также сравнение характера их разрушения.

Однако, в полученной зависимости $R_B = f(R_p)$ проф. Ю.М. Баженов отмечает две зоны – это зона I, где увеличением прочности растворной части можно повысить прочность бетона в целом, и зона II, для которой практически невозможно повысить прочность бетона путем увеличения расхода цемента и т.д., поскольку заполнитель с определенной прочностью, а также хрупкий каркас цементной матрицы перестает сопротивляться внешним нагрузкам и начинает разрушаться. Следовательно, изготовление бетонов в зоне II с достаточно высокой прочностью растворной части экономически нецелесообразно. При этом у легких бетонов на пористом заполнителе и тяжелых бетонов на плотном заполнителе область получения экономичных составов отличается, что хорошо видно на рисунке 2. У бетонов на пористом заполнителе она наступает раньше при более низких значениях сжимающих нагрузок.

Как показывают экспериментальные данные ведущих ученых-бетонщиков, для конкретного класса бетона необходимо подбирать заполнитель соответствующей прочности, что обеспечивает экономию самого дорогого компонента бетона – вяжущего. Т.е. стремиться разработать составы бетонов, соответствующих зоне I.

Поскольку в данной работе поставлена цель исследовать область зависимости прочности бетона от прочности местного заполнителя нами проведены сравнительные испытания щебня местного производства и получены на его основе составы бетонов с максимально возможной прочностью.

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

Полученные для исследования составы бетонов и результаты сравнительных испытаний крупного заполнителя в бетонах разных классов по прочности на сжатие представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные испытания крупного заполнителя в высокопрочных бетонах

№ состава	Расход материалов на 1 м³ бетона, кг										Проектный класс (марка) бетона	Характер разрушения
	Щ			П		Ц			В	Д		
	Аргунский	Серноводский	Алагирский	Червленский	Алагирский	ПЦ М500 ДО ГУП «Чечен-цемент»	НВ-60:40	НВ-75:25				
	1200	-	-	515	-	490	-	-	182	4,9	В40 (М500)	По цементному камню
	-	1200	-	515	-	490	-	-	180	4,9		То же
	-	-	1200	515	-	490	-	-	180	4,9		То же
	-	-	1200	-	530	484	-	-	176	4,8		То же
	1220	-	-	470	-	535	-	-	186	5,3	В45 (М600)	То же
	-	1220	-	470	-	535	-	-	184	5,3		То же
	-	-	1220	470	-	535	-	-	184	5,3		То же
	-	-	1220	-	480	530	-	-	180	5,3		То же
	1240	-	-	460	-	-	540	-	173	2,2	В55 (М700)	По заполнителю
	-	1240	-	460	-	-	540	-	172	2,2		Смешанное разрушение
	-	-	1240	460	-	-	540	-	172	2,2		То же
	-	-	1240	-	465	-	538	-	169	2,1		То же
	-	1260	-	445	-	-	-	560	168	2,2	В60 (М800)	По заполнителю
	-	-	1260	445	-	-	-	560	166	2,2		По цементному камню
	-	-	1260	-	450	-	-	560	163	2,2		То же

В указанных составах бетонных смесей для регулирования технологических показателей применялся суперпластификатор Линамикс ПК, который дозируется в количестве 1 % от массы вяжущего. А бетонные смеси класса В55 и выше были приготовлены на специальных высокоактивных вяжущих низкой водопотребности марок НВ-60:40 и НВ-75:25. В бетонах на основе НВ суперпластификатор Линамикс ПК вводился в количестве не более 0,4 % от массы вяжущего, поскольку в составе НВ уже присутствует пластификатор марки Д-5. При этом представленные составы запроектированы одной марки по подвижности.

В качестве крупного заполнителя в указанных составах бетонов применялся местный известняковый щебень из гравия Аргунского и Серноводского месторождений. Также для сравнения применялся привозной гранитно-диабазовый щебень Алагирского месторождения.

Пригодность того или иного вида заполнителя для конкретного класса бетона определяли по картине разрушения бетона, которая может иметь один из следующих характеров (рисунок 3):

- разрушение по заполнителю;
- по цементному камню;
- по контактной зоне заполнителя и цементного камня;
- смешанное разрушение.

Результаты сравнительных исследований показали, что заполнители Аргунского и Серноводского месторождений позволяют получить бетоны классов по прочности на сжатие до В45 и В55 соответственно. При использовании указанного местного заполнителя в более высоких классах бетонах наблюдается картина разрушения бетона заполнителю (см. рисунок 3), что свидетельствует о том, что прочность цементного камня $R_{ц.к.}$ выше прочности применяемого заполнителя $R_з$. Т.е. зона I, соответствующая более экономичным составам, для композитов на этих заполнителях охватывает классы бетонов от В7,5 до В45-В55.

Рис. 3. Характер разрушения бетона:

а* – разрушение по заполнителю ($R_з < R_{ц.к.} \leq R_{к.з.}$); ***б* – по цементному камню ($R_{ц.к.} < R_{к.з.} \leq R_з$); ***в* – по контактной зоне заполнителя и цементного камня ($R_{к.з.} < R_{ц.к.} \leq R_з$); ***г* – смешанное разрушение ($R_{к.з.} = R_{ц.к.} = R_з$); $R_з$ – прочность заполнителя; $R_{ц.к.}$ – прочность цементного камня; $R_{к.з.}$ – прочность контактной зоны заполнителя и цементного камня*****

Для приготовления бетонов более высоких классов (В60 и выше) необходимо использовать заполнитель более прочный, чем разрабатываемый состав бетона. Обычно, как утвержда-

ют ведущие ученые-бетонovedы, прочность заполнителя должна быть выше прочности бетона не менее 1,5 раза. Так, высокопрочный заполнитель из гранитно-диабазовых пород с маркой по дробимости в цилиндре М1200-М1400 позволяет получить бетон класса В60 (см. таблицу 1), в котором разрушение бетона происходит по цементному камню, а не по заполнителю.

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.

При этом бетоны на Аргунском и Серноводском заполнителях также отличаются по картине разрушения. Так, если бетон на Аргунском щебне класса В45 разрушается по заполнителю, то разрушение бетона даже В55 на Серноводском заполнителе носит более смешанный характер (см. рисунок 3), что свидетельствует о более прочной структуре такого заполнителя в сравнении с Аргунским.

С целью изучения природы происхождения слабых зерен в местном заполнителе, а также определения наиболее оптимального способа его обогащения, были проведены дополнительные исследования, в том числе с использованием методов термической обработки заполнителя. При обработке местного заполнителя при температуре около 1000 °С наблюдается наличие в нем известняковых включений в виде СаО в объеме около 25-30 % по массе.

Несмотря на то, что термический способ позволяет выделить слабую часть заполнителя и получить более прочный щебень для бетона, он довольно-таки сложный, энерго- и трудозатратный метод. Такой подход к получению прочного заполнителя безусловно приведет к повышению себестоимости бетона на его основе.

Общеизвестно, что есть и другие способы повышения качества заполнителя, которые считаются малоэнергоёмкими и более эффективными, чем термические. Так, для повышения качества заполнителя авторы трудов [5,6] предлагают способы их сортировки по прочности зерен. На рисунке 4 представлена схема сепаратора, позволяющего разделить зерна заполнителя по принципу их упругого отскока от твердой поверхности.

На рисунках 4 и 5 представлены также разновидности способов сепарации зернового материала, в основе которых лежит принцип разности сил трения отдельных зерен, свободно скользящих по наклонной плите. Более прочные зерна, имея меньшую силу трения, скользят быстрее и, ускоряясь на плите, попадают в отдельный бункер, а менее прочные – в другой. Подобный принцип работы заложен в барабанном сепараторе, на котором зерна падают с определенной высоты, более плотные и прочные отскакивают в специальный отсек, а менее прочные – уносятся барабаном в другой.

При этом, как показывает промышленный опыт [7-9] применение обозначенных способов обогащения заполнителя считается более эффективной и доступной.

В результате исследований гравия Серноводского месторождения с маркой по дробимости в цилиндре М1000, проведенных в лабораторных условиях, удалось увеличить его марку дробимости до 20 %, что заметно повышает прочность бетона на несколько классов.

Таким образом, внедрение представленных технологий сепарации заполнителя по их физико-механическим показателям, позволяющих получить две фракции обогащённого заполнителя, предоставляет возможность их применения в бетонах различного функционального назначения: менее прочный щебень – в низкомарочных бетонах для неответственных конструкций, а прочный – в высококачественных и высокопрочных бетонах конструкций зданий и сооружений.

Рис. 4. Сепарация щебня по упругим свойствам зерен

Рис. 5. Сортировка гравия по скорости движения зерен

Рис. 6. Сепаратор барабанный для сортировки гравия

Список использованной литературы

1. Баженов, Ю.М. Обзор современных высокоэффективных бетонов / Ю.М. Баженов, Р.С. Федюк, В.С. Лесовик // Научно-технические инновации. Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. - С. 45-49.
2. 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.

3. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. -М.: Изд-во АСВ, 2007. - 526 с.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. -М.: Издательство Ассоциации высших учебных заведений, 2002. -500 с.
5. Чумаков, Л.Д. Технология заполнителей бетона [Электронный ресурс] / Л.Д. Чумаков. - 2-е изд., исправленное и дополненное. - М.: Издательство АСВ, 2011. - 264 с.
6. Брагина, В.И. Технология обогащения и переработки неметаллических полезных ископаемых [Текст] / В.И. Брагина. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 228 с.
7. Лесовик, В.С. Состояние и перспективы использования техногенного сырья / В.С. Лесовик // Научные и инженерные проблемы строительно-технологической утилизации техногенных отходов: материалы конференции. БГТУ им. В. Г. Шухова, 15-23 марта 2014 г. Белгород. 2014. –С.17-21.
8. 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.
9. Муртазаев, С.А.Ю., Сайдумов, М.С., Аласханов, А.Х. Бетоны мелкозернистой структуры на основе рециклирования отсевов дробления бетонного лома // В сборнике: Научные технологии и инновации: сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2016. -С. 279-286.
10. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Бисултанов Р.Г., Муртазаева Т.С-А. Современные подходы к использованию природного сырья горных территорий для получения эффективных строительных композитов // Устойчивое развитие горных территорий. – 2016. - №3 (Т.8). – С.238-247.
11. Саламанова М.Ш., Бисултанов Р.Г., Муртазаева Т.С-А., Хубаев М.С-М. Разработка составов долговечных бетонов с использованием композиционного вяжущего // Научное обозрение. – 2016. – №10.– С. 56-65.

DOI: 10.34708/GSTOU.CONF..2021.59.29.036

УДК 72

10 АРХИТЕКТУРНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, КОТОРЫЕ ДОЛЖНЫ ЗНАТЬ АРХИТЕКТОРЫ

10 ARCHITECTURAL INNOVATION TECHNOLOGIES THAT ARCHITECTS SHOULD KNOW

¹Даудова Ф.Х.

¹Daudova F. Kh.

¹Доцент кафедры «Архитектура и дизайн» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова,
г. Грозный, Россия

¹Associate Professor of the Department of Architecture and Design
GSOTU named after acad. M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia

***Аннотация.** В наш цифровой век появляются бесчисленные архитектурные технологии, которые меняют наш дизайн. В то время как некоторые из этих креативных технологий довольно новые, другие относительно старые, но стали свидетелями огромного развития в последнее время. Эти технологии неизбежно изменяют облик архитектуры, какой мы ее знаем. Итак, вместо того чтобы бороться с неизбежным, почему бы не принять его и не извлечь из него максимум пользы? В этой статье мы рассмотрим 10 креативных технологий, которые оказывают огромное влияние на современную архитектуру.*