

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691.335

DOI: 10.17673/Vestnik.2024.02.07

С. А. Ю. МУРТАЗАЕВ
М. Ш. САЛАМАНОВА

ВЛИЯНИЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА БЕТОНА

INFLUENCE OF AGGREGATE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CONCRETE

Доминирующая роль вяжущей системы и водо-цементного отношения доказана многими исследованиями, но следует отметить и значимость заполнителя, ведь большая доля в объеме материала принадлежит именно ему. Образуя жесткий остов, заполнитель участвует в формировании структуры композита, и именно он отвечает за контактную прочность с цементной матрицей. Исследование физико-механических свойств и гранулометрического состава заполнителя проводили согласно требованиям ГОСТ 8267–93. Исследовались возможные типы структур в зависимости от распределения зерен заполнителя в основной массе бетонной смеси, выделен наилучший «контактный» вид структуры. Изучены свойства проб щебня различных карьеров, установлено, что все относятся к группе гранит-диабазовых пород с развитой кубовидной формой, что положительно отразилось на контактной прочности с растворенной частью. Использование щебня фракции 20–40 мм карьера Алханчурт способствовало достижению класса бетона В40. Проведенный фронт работы по проектированию состава бетона с использованием крупного заполнителя Северно-Кавказского федерального округа позволил оценить вклад этого компонента в процесс формирования структуры и прочности бетонного камня, что является ответственным моментом при получении заданных классов бетона и в дальнейшем отразится на эксплуатационной надежности и долговечности строящихся объектов.

Ключевые слова: крупный заполнитель, гранулометрия, бетон, бетонная смесь, структура, водоотделение, контактная зона, прочность

The dominant role of the binder system and the water-cement ratio has been proven by many studies, but the importance of the aggregate should also be noted, because a large share in the volume of the material belongs to it. By forming a rigid skeleton, the filler participates in the formation of the structure of the composite, and it is it that is responsible for the contact strength with the cement matrix. A study of the physical and mechanical properties and granulometric composition of the filler is necessary to determine the material's compliance with the requirements of GOST 8267–93. The work carried out on designing the composition of concrete using coarse aggregate from the North Caucasus Federal District made it possible to evaluate the contribution of this component to the process of formation of the structure and strength of concrete stone. Occupying the predominant volume in the mass of concrete, coarse aggregate affects the technical performance, durability and cost of the final product. The study of physical and mechanical properties and granulometric composition of the aggregate will make it possible to correctly design concrete formulations, which is a crucial point in obtaining specified classes of concrete, and will subsequently affect the operational reliability and durability of objects under construction

Keywords: coarse aggregate, granulometry, concrete, concrete mixture, structure, water separation, contact zone, strength

Введение

История зарождения такого доминирующего в строительстве материала, как бетон упирается в далекое прошлое, но возможности и потенциал его, можно с уверенностью утверждать, неисчерпаемы [1–5]. Вяжущее, заполнители и вода – основные компоненты бетонного камня, в которых сосредоточен определенный резерв энергии, – после химического контакта активных составляющих, связывая крупные и мелкие зерна пород в единое целое, образуют жесткий и прочный конгломерат. Первостепенная роль вяжущей системы и водоцементного отношения доказана многими исследованиями [6–9], но следует отметить и значимость заполнителя, ведь большая доля в объеме материала принадлежит именно ему. Образует жесткий остов, заполнитель участвует в формировании структуры композита, и именно он отвечает за контактную прочность с цементной матрицей.

По данным многих исследователей [10–16] прочность бетонов всех марок без исключения, зависит в большей мере от адгезионной прочности контакта цементной связки с поверхностью щебня. Развитый и шероховатый микрорельеф способствует увеличению прочности в 4 раза, в сравнении с заполнителем гладкой поверхности, обусловлено это более глубоким проникновением в углубления и дефекты на поверхности щебня цементного раствора, с дальнейшим синтезом на указанных подложках кристаллических образований гидратных соединений [17]. Следовательно, адгезионная прочность зависит от многих факторов, таких как прочность, гранулометрия и морфология заполнителя, но необходимо

отдельно отметить влияние водоцементного отношения на плотность примыкания цементной пасты с зернами щебня. Установлено, что с увеличением водоцементного отношения наблюдаются нежелательные процессы водоотделения и седиментации вяжущей связки, которые приводят к скоплению жидкости под зернами щебня или гравия с образованием слабых зон, пустот и нарушению сплошности контактной зоны [9, 18]. Увеличение крупности фракций заполнителя также благоприятствует нежелательным явлениям. Поэтому для повышения прочности в зоне контакта желательно использовать жесткие бетонные смеси, с оптимальной гранулометрией и развитой морфологией, а для преодоления трудностей приготовления и формования массы необходимо предусмотреть дополнительные источники перемешивания и виброуплотнения, вводить химические модификаторы, ликвидируя тем самым негативные седиментационные процессы в составе [19, 20].

Доля заполнителя в теле бетона велика, образуемый жесткий каркас должен воспринимать действующие нагрузки, уменьшать деформации (усадка, ползучесть, микротрещины), повышать прочность и модуль упругости камня при дальнейшей эксплуатации в конструктивном элементе, но следует заметить, что от степени наполнения цементной матрицы щебнем зависит структура смеси, бетона и возможности конечного продукта [21, 22]. На рис. 1 представлены возможные вариации структуры композита в зависимости от содержания крупного заполнителя.

Приведенные типы структур, полученные на основании результатов исследований [12, 14],

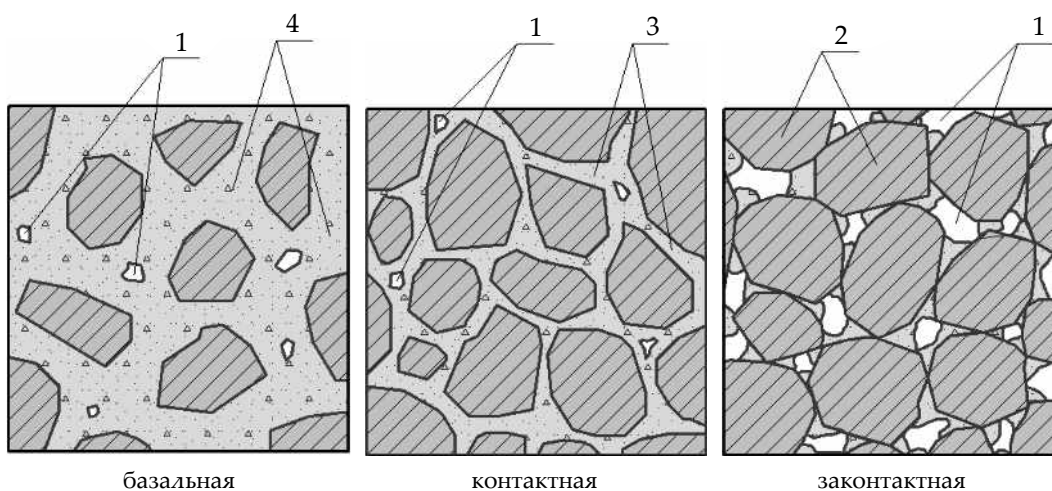


Рис. 1. Типы структур бетонов в зависимости изменения содержания щебня:

1 – межзерновые пустоты; 2 – зерна щебня; 3 – адгезионный слой; 4 – цементная матрица

Fig. 1. Types of concrete structures depending on the change in crushed stone content:

1 – intergranular voids; 2 – crushed stone grains; 3 – is an adhesive layer; 4 – cement matrix

дают возможность восприятия особенностей распределения зерен заполнителя в основной массе бетона в зависимости от степени наполнения цементного раствора щебнем. Наибольшее предпочтение можно отдать «контактной» структуре, так как возникающие при работе бетона сжимающие нагрузки и напряжения концентрируются на сравнительно жестком элементе – зернах щебня, и величина усилия определяется модулями упругости матрицы и крупного заполнителя.

«Базальная» структура, или «плавающий заполнитель» формируется при уменьшении доли щебня за счет увеличения растворной массы, зерна отдаляются друг от друга толстым слоем цементного камня, что приводит к снижению сжимающих нагрузок и напряжений в области крупного заполнителя, влияние этого компонента на физико-механические свойства бетона практически неощутимы.

«Законтактная» структура характерна при перерасходе доли крупного заполнителя, зерна щебня непосредственно контактируют друг с другом, растворной части не хватает для сохранения сплошности, межзерновые пространства заполнены воздухом. Можно утверждать, что этот тип структуры самый нестабильный и весьма критичен; из-за отсутствия прочной связи между зернами щебня происходит концентрация напряжений в зоне контакта с дефицитной растворной массой, что отразится на прочностных и деформационных свойствах бетона.

Материалы и методы

Приведенный небольшой анализ доказывает значимость заполнителя в составе бетона, его влияние на свойства конечного композита.

Для получения качественного материала необходимо тщательно исследовать все основополагающие для подбора состава бетона свойства крупного заполнителя. С этой целью, в рамках проведения научно-технического сопровождения объектов СКФО, для разработки бетонов классов В20–В40 были взяты пробы щебня с действующих карьеров Республики Северная Осетия (РСО), Чеченской Республики (ЧР) и Республики Дагестан (РД). Исследовались физико-механические свойства, гранулометрический состав, изучалась морфология поверхности заполнителя, и особый акцент делался на наличие нежелательных в заполнителе активных примесей. Результаты исследований представлены в табл. 1–6.

Исследуемые в работе пробы щебня, отобранные в соответствии с ГОСТ 8269.0-97, относятся к группе гранит-диабазовых пород, наиболее часто применяемых фракций 5–20 и 20–40 мм. Рельеф поверхности у всех исследуемых проб шероховатый, присутствует развитая кубовидная форма, что положительно отразится на контактной прочности с растворной частью. Практически все партии щебня соответствуют марке по дробимости М1000, за исключением щебня карьера Комсомольский фракции 5–20 мм и щебня фракции 20–40 мм карьера с. Беслан, прочность по дробимости которых составила М800 (ГОСТ 8267-93, табл. 5). Для получения бетонов В40 и более рекомендуется применять щебень с маркой по дробимости более \geq М1000. Результаты гранулометрического анализа показали, что проба щебня фракции 20–40 мм с. Алханчурт (РСО) по требованиям зернового состава и по физико-механическим свойствам соответствует требованиям ГОСТ 8267-93. Остальные исследуемые пробы щебня испытание по гранулометрическому составу частично не прошли.

Таблица 1. Свойства щебня фракции 5–20 мм, с. Алханчурт, РСО
Table 1. Properties of crushed stone of 5–20 mm fraction, p. Alkhanchurt, RSO

Показатель	Фактические значения						ГОСТ 8267-93
Подбор сит	1, 25Д	Д	0, 5(Д+d)	d	2, 5	< 2, 5	
Размер сит, мм	25	20	12, 5	5	2, 5	–	
Полные остатки, %	–	12, 7	72, 78	97, 67	99, 07	100	
ГОСТ 8267-93	До 0, 5	До 10	30-60	90-100	–	–	
Прочность щебня (марка по дробимости)			6,19 (М1000)				–
Насыпная плотность, кг/м³			1476				–
Содержание дробленых зерен, %			83				\geq 80
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %			0,9				< 1
Содержание глины в комках, %			Нет				< 0, 25

Таблица 2. Свойства щебня фракции 5–20 мм, с. Комсомольское, ЧР
Table 2. Properties of crushed stone of 5–20 mm fraction with. Komsomolskoye, CR

Показатель	Фактические значения							ГОСТ 8267–93
Подбор сит	1,25Д	Д	0,5(Д+d)	d	2,5	1,25	< 1,25	
Размер сит, мм	25	20	12,5	5	2,5	1,25	–	
Полные остатки, %	0,92	17,2	69,8	98,6	99,4	99,4	100	
ГОСТ 8267–93	До 0,5	До 10	30–60	90–100	–	–	–	
Прочность щебня (марка по дробимости)	21,3 (М800)							–
Насыпная плотность, кг/м³	1432							–
Содержание дробленых зерен, %	87							≥80
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,5							< 1
Содержание глины в комках, %	Нет							< 0,25

Таблица 3. Свойства щебня фракции 20–40 мм, с. Алханчурт, РСО
Table 3. Properties of crushed stone with fraction of 20–40 mm s. Alkhanchurt, RSO

Показатель	Фактические значения						ГОСТ 8267–93
Подбор сит	1,25Д	Д	0,5(Д+d)	d	2,5	< 2,5	
Размер сит, мм	50	40	30	20	10	–	
Полные остатки, %	–	8,16	59,5	92,95	99,8	100	
ГОСТ 8267–93	До 0,5	До 10	30–60	90–100	–	–	
Прочность щебня (марка по дробимости)	16,4 (М1000)						–
Насыпная плотность, кг/м³	1420						–
Содержание дробленых зерен, %	85						≥80
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,13						< 1
Содержание глины в комках, %	Нет						< 0,25

Таблица 4. Свойства щебня фракции 20–40 мм, с. Беслан, РСО
Table 4. Properties of crushed stone, fraction 20–40 mm, p. Beslan, PSO

Показатель	Фактические значения						ГОСТ 8267–93
Подбор сит	1, 25Д	Д	0,5(Д+d)	d	2,5	< 2,5	
Размер сит, мм	50	40	30	20	10	–	
Полные остатки, %	–	21,42	67,91	97,78	99,46	100	
ГОСТ 8267–93	До 0,5	До 10	30–60	90–100	–	–	
Прочность щебня (марка по дробимости)	22,1 (М800)						–
Насыпная плотность, кг/м³	1351						–
Содержание дробленых зерен, %	84						≥80
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,43						< 1
Содержание глины в комках, %	Нет						< 0,25

Таблица 5. Свойства щебня фракции 20–40мм, с. Нагир, РСО
Table 5. Properties of crushed stone with fraction of 20–40 mm, with. Nagir, RSO

Показатель	Фактические значения						ГОСТ 8267–93
Подбор сит	1,25Д	Д	0,5(Д+d)	d	2,5	< 2,5	
Размер сит, мм	50	40	30	20	10	–	
Полные остатки, %	1,36	22,91	63,43	98,60	99,86	100	
ГОСТ 8267–93	До 0, 5	До 10	30–60	90–100		–	
Прочность щебня (марка по дробимости)			8,3 (М1000)				–
Насыпная плотность, кг/м³			1500				–
Содержание дробленых зерен, %			84				≥80
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %			0,85				< 1
Содержание глины в комках, %			Нет				< 0,25

Таблица 6. Свойства щебня фракции 20–40 мм, г. Кизилюрт, РД
Table 6. Properties of crushed stone of 20–40 mm fraction, Kizilyurt, RD

Показатель	Фактические значения						ГОСТ 8267–93
Подбор сит	1,25Д	Д	0,5(Д+d)	d	2,5	< 2,5	
Размер сит, мм	50	40	30	20	10	–	
Полные остатки, %	–	13,41	52,01	97,31	99,97	100	
ГОСТ 8267–93	До 0,5	До 10	30–60	90–100		–	
Прочность щебня (марка по дробимости)			18,2 (М1000)				–
Насыпная плотность, кг/м³			1470				–
Содержание дробленых зерен, %			83				≥80
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %			0,60				< 1
Содержание глины в комках, %			Нет				< 0,25

Результаты

В состав современных бетонных смесей входят минеральные порошки, химические модификаторы, фракционированные заполнители, многокомпонентные вяжущие связки, активированная вода затворения. Но на строительных площадках в большей мере пользуются спросом универсальные линейки бетона классов В25–В40, для производства которых нужны стабильные и доступные сырьевые материалы. Для подбора составов бетона в качестве вяжущего применялся портландцемент АО «Чеченцемент» ЦЕМ I 42,5 Н, активность которого на момент исследований составила 49,5 МПа. Мелкий заполнитель использовался с месторождения Алагир (РСО), модуль крупности составил 2,8, присутствие активного кремнезема не обнаружено, содержание пылеватых и глинистых частиц 0,7 %. Для получения высокоподвижных смесей марки по подвижности П4 исследовалась химическая добавка на основе эфиров

поликарбоксилатов Полипласт СП-1 (1,3 % от массы цемента), для работы в зимних условиях рекомендуется противоморозная добавка РЕ-ОДИН 150F (RE150F) с дозировкой от 1–1,5 % от массы цемента, которая изменялась в зависимости от температуры окружающей среды. Крупный заполнитель, который полностью или частично отвечал требованиям ГОСТ 8267–93, использовался в экспериментах. Предлагаемые составы тяжелых бетонов В25–В40 и результаты испытаний представлены в табл. 7, 8. Испытания серии образцов кубов размером 10 см (4 кубика на каждый состав), твердевших в камере нормального твердения в течение 28 сут, показали, что достигнуть проектной прочности удалось только образцам класса В40. Объяснением достижения заданной прочности составом В40 будет использование щебня фракции 20–40 мм карьера Алханчурт, РСО, полностью соответствующего требованиям ГОСТ 8267–93 как по гранулометрическому, так и по физико-механическим характеристикам.

Таблица 7. Составы тяжелых бетонов
Table 7. Heavy Concrete Compositions

№ состав	Заданный класс (марка) бетона по прочности на сжатие	В/Ц	Расход материалов на 1 м³ бетона, кг				Плотность бетонной смеси, кг/м³	Подвижность смеси ОК, см	Добавка полипласт СП-1 Реодин*
			Ц	В	Щ	П			
Щебень фракции 20–40 мм карьера Алханчурт, РСО									
1	B40 (M500)	0, 30	530	159	1000	730	2420	17	6, 8
Щебень фракции 20–40 мм Кизилюрт, РД									
2	B35 (M 450)	0, 31	450	140	1100	745	2440	18	6, 3
Щебень фракции 5–20 мм Алханчурт, РСО									
3	B30 (M400)	0, 44	430	189	1075	775	2470	17	5, 7
Щебень фракции 20–40 мм Беслан, РСО									
4	B25 (M350)	0, 50	380	190	1060	820	2460	17	4, 7

* Противоморозная добавка РЕОДИН 150F дозировка изменяется в зависимости от температуры окружающей среды: +5–0 °С – 1 %; 0 – -5 °С – 1, 1–1,2 %; -5 – -10 °С – 1,3–1,4 %; -10 – -15 °С от 1,5 %

Таблица 8. Результаты испытаний бетона
Table 8. Concrete test results

№ состава	Наименование образца	Плотность, кг/м ³	Разрушающая нагрузка, кН	Прочность при сжатии, МПа	Требуемая прочность, МПа	% от требуемой прочности
1	B40 (M500)	2325	570	54,1	52,3	103,0
2	B35 (M450)	2320	460	43,7	45,8	95,4
3	B30 (M400)	2318	384	36,5	39,2	93,0
4	B25 (M350)	2310	324	30,8	32,7	94,2

Минимальная загрязненность зерен щебня пылеватыми, глинистыми и илистыми частицами, шероховатый, изъеденный рельеф поверхности, остроугольная кубовидная форма, высокая прочность при сдавливании в цилиндре – все это в комплексе содействовало набору проектной прочности. За проектируемые составы B35 (M450), B30 (M400) и B25 (M350) на 5–7 % уступают проектной прочности на 28-е сутки, но в более длительные сроки достигнут заданные показатели благодаря использованию в составах щебня марки по дробимости M1000 и суперпластификатора Полипласт СП-1 (1,3 % от массы цемента).

Ввиду того, что от показателя адгезионной прочности в зоне контакта цементно-песчаного раствора и поверхности крупного заполнителя

зависят физико-механические показатели бетона в целом, образцы состава B40 подвергались микроанализу на растровом электронном микроскопе Quanta 3D 200i с интегрированной системой микроанализа Genesis Apex 2 EDS от EDAX. На приведенных микрографиях (рис. 2) образцов бетона можно наблюдать морфологию контактной зоны и достаточно плотную структуру композита. Композиция представлена массивной относительно однородной структурой, образованной гидратами силикатов и алюминатов кальция.

Результаты наличия микрофаз в контактной зоне, диагностируемые методами электронно-зондового анализа, представлены в виде спектрограммы на рис. 3 и в табл. 9.

Микроструктура основной массы образования неокристаллизованными агрегатами гидроси-

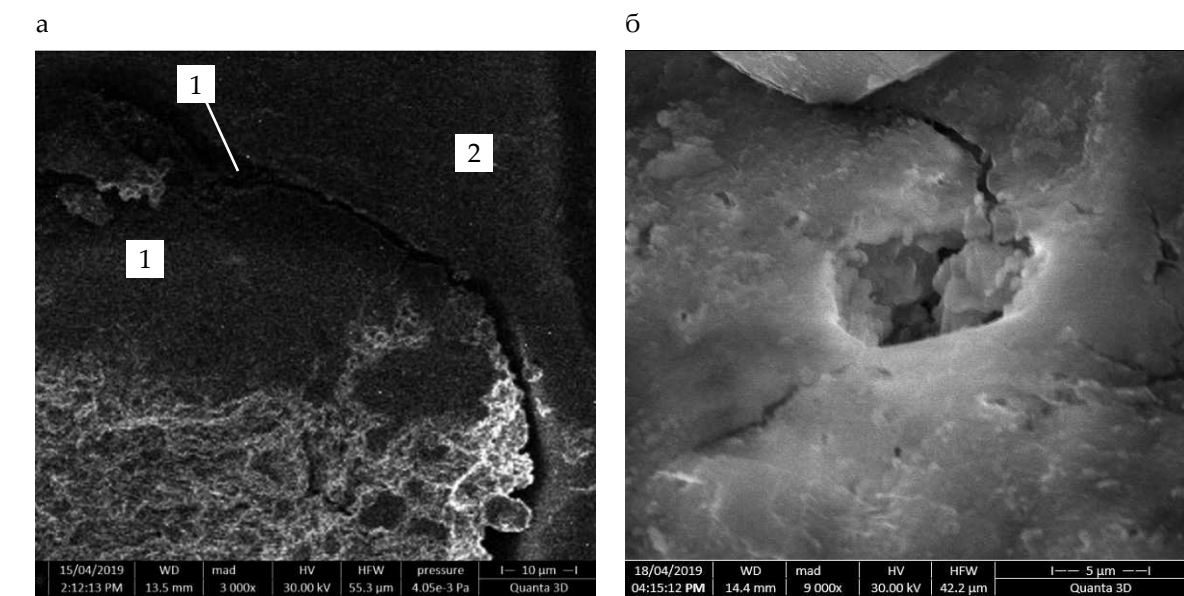


Рис. 2. Микрофотография адгезионной зоны бетона состава В40:
а – зона контакта цементной матрицы с гранитом (увел. 3000 крат; б – структура бетона (увел. 9000 крат)
1 – заполнитель; 2 – зона контакта; 3 – адгезионный слой
Fig. 2. Micrograph of the adhesion zone of concrete of the composition V40:
a – zone of contact of cement matrix with granite (el. 3, 000 krat; b – concrete structure (el. 9000 krat)
1 – filler; 2 – contact area; 3 – adhesive layer

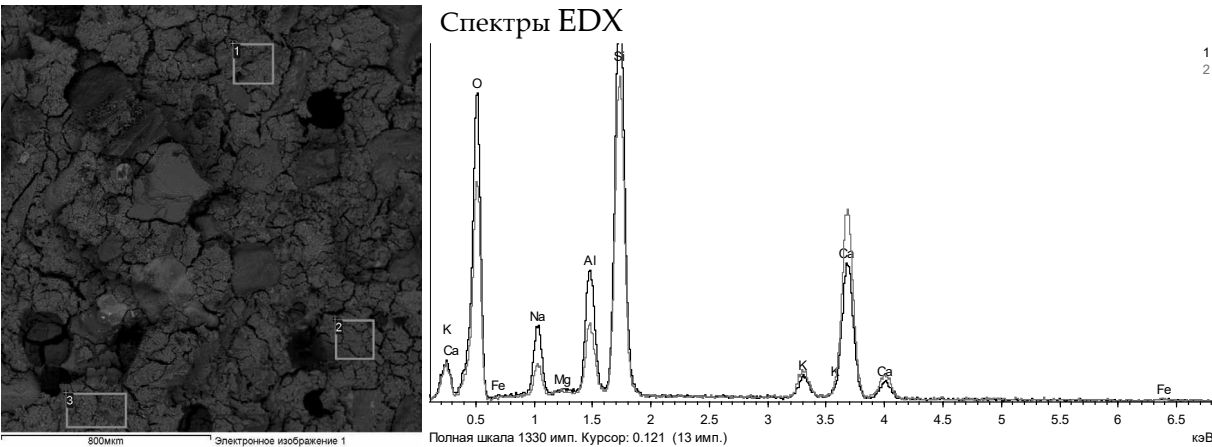


Рис. 3. Состав типичных участков (спектры EDX) (увел.800 мкм)
Fig. 3. Composition of Typical Sites (EDX Spectra) (800 μm)

Таблица 9. Результаты анализа микрофаз на участке контактной зоны
Table 9. Results of analysis of microfases in the contact area area

№ п/п	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Итог
1	0,46	-	19,49	54,26	13,34	87,54
2	1,14	0,23	0,29	2,19	41,97	45,81
3	0,85	0,55	0,56	6,69	42,13	50,78

ликатов кальция переменного состава (табл. 9, анализ 1) и гидроалюминатов кальция (табл. 9, анализы 2, 3). Преобладание указанных соединений в контактной зоне подтверждает влияние адгезионной прочности в переходной зоне цементная матрица – заполнитель на прочность бетона в целом.

Заключение

Проведенный фронт работ по проектированию состава бетона с использованием крупного заполнителя Северо-Кавказского федерального округа, позволил оценить вклад этого компонента в процесс формирования структуры и прочности бетонного камня. Установлено, что, варьируя содержанием доли заполнителя, можно управлять процессами формирования структуры и прочности. Наиболее выгодной можно считать «контактную» структуру с равномерным распределением зерен щебня в достаточной цементно-песчаной массе; возникающие при работе бетона сжимающие нагрузки и напряжения концентрируются на достаточно жестком каркасе из крупного заполнителя. Исследованные пробы гранитно-диабазового щебня подтверждают их эффективность как по прочностным показателям, так и по морфологии. Использование щебня фракции 20–40 мм карьера Алханчурт, характеристики которого полностью соответствуют требованиям ГОСТ 8267–93 как по гранулометрическому, так и по физико-механическим показателям содействовало достижению класса В40 тяжелого бетона. Методами электронной микроскопии подтверждается преобладание в контактной зоне таких прочных и труднорастворимых соединений, как гидраты силикатов и алюминатов кальция, гарантирующие эксплуатационную надежность и долговечность бетонного композита.

Таким образом, занимая преобладающий объем в массе бетона, крупный заполнитель влияет на технические показатели, долговечность и стоимость конечного продукта. Исследование физико-механических показателей и гранулометрического состава заполнителя позволит правильно проектировать рецептуры бетона, что является ответственным моментом при получении заданных классов бетона и в дальнейшем отразится на эксплуатационной надежности и долговечности строящихся объектов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-69-00043, <https://rscf.ru/project/24-69-00043/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Каприелов С.С., Волков Ю.С. Бетон как экологический фактор снижения углеродного следа в среде обитания // Бетон и железобетон. 2022. №3 (611). С. 10–14.
2. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Чилин И.А. Оптимизация параметров технологии бетона для обеспечения термической трещиностойкости массивных фундаментов // Строительные материалы. 2022. №10. С. 41–51.
3. Нелюбова В.В., Усиков С.А., Строчкова В.В., Нецвет Д.Д. Состав и свойства самоуплотняющегося бетона с использованием комплекса модификаторов // Строительные материалы. 2021. №12. С. 48–54.
4. Strokova V.V., Nikulina M.V., Baskakov P.S., Abzalilova A.V., Esina A.Y. Influence of a hydrophobic emulsion on the surface properties of coatings of water-dispersion acrylic paint. Materials Science Forum. 2021. P. 165–171.
5. Федоров П.А. Сравнительный анализ методов определения эффективного коэффициента диффузии CO₂ в мелкозернистом бетоне разной плотности // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, №1. С. 63–70. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.9.
6. Маилян Д.Р., Невсетаев Г.В., Коллеганов Н.А. К определению трещиностойкости железобетонных балок из различных видов бетонов // Инженерный вестник Дона. 2023. №1(97). С. 533–548.
7. Chepurnenko A.S., Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I., Yazyev B.M. Simplified model for determining the stress-strain state in massive monolithic foundation slabs during construction // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. N. 18 (3). P. 126–136.
8. Lesovik V.S., Popov D.Yu., Fediuk R.S., Usanova K.Iu. Composite binders with superabsorbent polymers // Construction of Unique Buildings and Structures. 2023. N. 3(108). P. 10803.
9. Alaskhanov A.Kh., Lesovik V.S., Tolstoy A. “Green” composites based on technogenic raw materials // AIP Conference Proceedings. 2023. P. 153–158.
10. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 289 с.
11. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов // Строительные материалы. 2008. №3. С. 20–24.
12. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. Т. 46. № 2. С. 65–70.
13. Каприелов С.С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях // Строительные материалы. 2008. №3. С. 9–13.
14. Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Муртазаева Т.С-А., Хубаев М. С-М. Высококачественные модифицированные бетоны на основе минеральных добавок и суперпластификаторов различной природы // Инновации и инвестиции. 2015. №8. С. 159–163.
15. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Алиев С.А., Бисултанов Р.Г. Горные породы вулканического происхождения как заполнители для получения

легких бетонов // Научное обозрение. 2015. №7. С. 105–113.

16. Ивлев М.А., Недосеко И.В. Сталефибробетон в производстве малоформатных изгибаемых элементов // Градостроительство и архитектура. 2012. №4(8). С. 86–91. DOI: 10.17673/Vestnik.2012.04.16.

17. Саламанова М.Ш., Бисултанов Р.Г., Мовсулов М.М. Перспективные возможности получения качественных мелкозернистых композитов // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Т. XIX, №2(32). С. 94–101.

18. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Корянова Ю.И. Разработка полиморфной вяжущей системы на основе карбонатной добавки // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Т. XIX, №3(33). С. 96–103.

19. Yang J., Qu D., Hu J., Song L., Cheng B. Research on singular value detection method of concrete dam deformation monitoring. Measurement. 2021. V. 179. P. 109457.

20. Chen J., Jia Q., Xu S., Fan P., The PDEM-based time-varying dynamic reliability analysis method for a concrete dam subjected to earthquake. Structures. 2021. V. 33. P. 2964–2973.

21. Gowripalan N., Shakor P., Rocker P. Pressure exerted on formwork by self-compacting concrete at early ages: A review. Case Studies in Construction Materials. 2021. V.15. P. 00642.

22. Dong W., Li W., Tao Z. A comprehensive review on performance of cementitious and geopolymetric concretes with recycled waste glass as powder, sand or cullet. Resources, Conservation and Recycling. 2021. V. 172. P. 105664.

REFERENCES

1. Travush V.I., Kuzevanov D.V., Kaprielov S.S., Volkov Yu.S. Concrete as an environmental factor in reducing the carbon footprint in the environment. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 2022, no. 3 (611), pp. 10–14. (in Russian)

2. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Chilin I.A. Optimization of concrete technology parameters to ensure thermal crack resistance of massive foundations. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2022, no. 10. pp. 41–51. (in Russian)

3. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Chilin I.A. Optimization of concrete technology parameters to ensure thermal crack resistance of massive foundations. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2022. no.10. pp. 41–51. (in Russian)

4. Strokova V.V., Nikulina M.V., Baskakov P.S., Abzalilova A.V., Esina A.Y. Influence of a hydrophobic emulsion on the surface properties of coatings of water-dispersion acrylic paint. Materials Science Forum. 2021. P. 165–171.

5. Fedorov P.A. Comparative analysis of methods for determining the effective CO₂ diffusion coefficient in fine-grained concrete of different densities. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Archi-

itecture], 2020, vol. 10, no. 1, pp. 63–70. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.9

6. Mailyan D.R., Nesvetaev G.V., Kolleganov N.A. To determine the crack resistance of reinforced concrete beams made from various types of concrete. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Don Engineering Herald], no. 1(97). pp. 533–548. (in Russian)

7. Chepurnenko A.S., Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I., Yazyev B.M. Simplified model for determining the stress-strain state in massive monolithic foundation slabs during construction. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. N. 18 (3). P. 126–136.

8. Lesovik V.S., Popov D.Yu., Fediuk R.S., Usanova K.Iu. Composite binders with superabsorbent polymers. Construction of Unique Buildings and Structures. 2023. N. 3(108). P. 10803.

9. Alaskhanov A.Kh., Lesovik V.S., Tolstoy A. “Green” composites based on technogenic raw materials. AIP Conference Proceedings. 2023. P. 153–158.

10. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. *Modifitsirovannye vysokokachestvennye betony* [Modified high quality concrete]. Moscow, ASV, 2006. 289 p.

11. Kalashnikov V.I. The non-metallic building materials industry and the future of concrete. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2008, no. 3, pp. 20–24. (in Russian)

12. Murtazaev S.A. Yu., Salamanova M.Sh. Prospects for the use of thermally activated aluminosilicate raw materials. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Volga Scientific Journal], 2018. no. 2(47). pp. 65–75. (in Russian)

13. Kaprielov S.S. Modified high-strength concrete of classes B80 and B90 in monolithic structures. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2008. no. 3. pp. 9–13. (in Russian)

14. Salamanova M.Sh., Saidumov M.S., Murtazaeva T.S-A., Khubaev M. S-M. High-quality modified concrete based on mineral additives and superplasticizers of various natures. *Innovacii i investicii* [Innovation and investment], 2015. no. 8, pp. 159–163. (in Russian)

15. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh., Aliev S.A., Bisultanov R.G. Rocks of volcanic origin as fillers for producing lightweight concrete. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2015, no. 7, pp. 105–113. (in Russian)

16. Ivlev M.A., Nedoseko I.V. Steel fiber concrete in the production of small-format bending elements. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2012, no. 4(8), pp. 86–91. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2012.04.16

17. Salamanova M.Sh., Bisultanov R.G., Movsulov M.M. Promising opportunities for producing high-quality fine-grained composites. *Nauchno-tehnicheskij zhurnal Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of GGNTU. Technical sciences], 2023, vol. XIX, no. 2 (32), pp. 94–101. (in Russian)

18. Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh., Koryanova Yu.I. Development of a polymorphic binder system based on a carbonate additive. *Nauchno-tehnicheskij zhurnal Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of

GGNTU. Technical sciences], 2023, vol. XIX, no. 3(33), pp. 96–103. (in Russian)

19. Yang J., Qu D., Hu J., Song L., Cheng B. Research on singular value detection method of concrete dam deformation monitoring. Measurement. 2021. V.179. P. 109457.

20. Chen J., Jia Q., Xu S., Fan P., The PDEM-based time-varying dynamic reliability analysis method for a concrete dam subjected to earthquake. Structures. 2021. Vol. 33: 2964–2973.

21. Gowripalan N., Shakor P., Rocker P. Pressure exerted on formwork by self-compacting concrete at early ages: A review. Case Studies in Construction Materials. 2021. V.15. P. 00642.

22. Dong W., Li W., Tao Z. A comprehensive review on performance of cementitious and geopolymeric concretes with recycled waste glass as powder, sand or cullet. Resources, Conservation and Recycling. 2021. V. 172. P. 105664.

Об авторах:

МУРТАЗАЕВ Сайд-Альви Юсупович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова 364051, Россия, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100
Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук 364051, Россия, г. Грозный, ул. им. В. Алиева, 21а
E-mail: s.murtazaev@mail.ru

MURTAZAEV Said-Alvi Yu.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Construction Technology Chair
Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov
364051, Russia, Grozny,
Avenue named after Kh.A. Isaev, 100
Complex Research Institute named after H.I. Ibragimov of the Russian Academy of Sciences
364051, Russia, Grozny, V. Aliyev str., 21 a
E-mail: s.murtazaev@mail.ru

САЛАМАНОВА Мадина Шахидовна

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии строительного производства Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова 364051, Россия, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100
Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук 364051, Россия, г. Грозный, ул. им. В. Алиева, 21а
E-mail: madina_salamanova@mail.ru

SALAMANOVA Madina Sh.

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Construction Technology Chair
Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov
364051, Russia, Grozny, Avenue named after Kh.A. Isaev, 100
Complex Research Institute named after H.I. Ibragimov of the Russian Academy of Sciences
364051, Russia, Grozny, V. Aliyev str., 21 a
E-mail: madina_salamanova@mail.ru

Для цитирования: Муртазаев С.А.Ю., Саламанова М.Ш. Влияние заполнителя на структуру и свойства бетона // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 2. С. 46–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.02.07.

For citation: Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh. Influence of aggregate on the structure and properties of concrete. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 2, pp. 46–55. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.02.07.