

# СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУКТУРЫ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

**Хакимов Р.Р.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Хакимов Радмир Ришатович - студент магистратуры Строительного института по направлению Технология строительных материалов, изделий и конструкций, Тюменского Индустриального Университета  
г. Тюмень, Российская Федерация*

**Аннотация:** *в статье проведены исследования повышения прочностных характеристик структуры мелкозернистого бетона. Такие как влияние мелкого заполнителя и его фракции, а также введение различных пластификаторов, комплексных химических добавок и тонкодисперсных минеральных наполнителей на прочность бетона. Исследовано и определено оптимальное процентное соотношение модификатора и цемента.*

**Ключевые слова:** *бетон, мелкозернистый, исследования, добавки, прочность.*

## METHODS FOR INCREASING THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE STRUCTURE OF FINE-GRANULAR CONCRETE

**Khakimov R.R.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Khakimov Radmir Rishatovich - Master's student of the Construction Institute in the direction of Technology of building materials, products and structures, Tyumen Industrial University  
Tyumen, Russian Federation*

**Abstract:** *the article studies the increase in the strength characteristics of the structure of fine-grained concrete. Such as the effect of fine aggregate and its fraction, as well as the introduction of various plasticizers, complex chemical additives and fine mineral fillers on the strength of concrete. The optimal percentage of the modifier and cement has been investigated and determined.*

**Keywords:** *concrete, fine-grained, research, additives, strength.*

**УДК 691.322**

Для изготовления декоративных мелкоштучных материалов используется мелкозернистый бетон. Благодаря мелкому заполнителю, бетонное изделие



имеет большую прочность, высокую гомогенность и плотность материала, за счет уменьшения межзернового пространства заполнителя и матрицы, понижается водоцементное отношение [4]. Что бы улучшить свойства мелкозернистого бетона, используются различные добавки, обеспечивающие подвижность и уменьшающие количество воды.

Для улучшения свойств мелкозернистого бетона, необходимо заменить крупные заполнители - песком, при этом уменьшив размер микротрещин в бетоне, тем самым повысив прочность бетона на сжатие и растяжение. Также появилась возможность использовать дробленый песок из прочных горных пород.

Добавление в смесь гиперпластификаторов и суперпластификаторов, комплексных химических добавок и мелкодисперсных минеральных наполнителей (мелкодисперсный шлак, зола, микрокремнезем, и т.д.) Это позволяет повысить прочностные характеристики мелкозернистого бетона. Для всех мелкозернистых бетонов полезно ввести небольшую добавку кремнезема это положительно отразится на его свойствах [3].

Микрокремнезем уплотняет бетонную структуру, благодаря чему можно получить бетон с высокой прочностью, и увеличить срок службы конструкции из мелкозернистого бетона. Кроме того, использование кремнезема снижает расход связующего.

Что бы уменьшить отрицательное воздействие микрокремнезема на реологические свойства, оптимально вводить совместно с суперпластификаторами. Более оптимальный вариант – введение трех составляющих вместе «Минеральный наполнитель- кремнезем- суперпластификатор». От качества песка, условий и требований к бетонной смеси зависит количество добавки, вводимой в бетон.

Производство не стоит на месте и с каждым годом появляются различные добавки в бетонные смеси, повышающие функционал бетонных изделий. Одним из них является органоминеральный модификатор МБ типа (Мб-50с, Мб-01 и др.), для бетонов. Это многокомпонентный порошок. Являющееся симбиозом



растворимой органической части и не растворимой не органического происхождения. Плотность насыпная 0,74 – 0,79 т/м<sup>3</sup>, диаметр гранул 0,009 – 0,39 мм.

Частица Мб представляет комбинацию ультратонких частиц, которые окружены затвердевшим растворенным слоем суперпластификатора и остальных органических составляющих модификатора [2]. Затвердевший слой «удерживает» частицы микронаполнителя, образуя прочные, воздухонепроницаемые гранулы.

Сформировавшийся адсорбционный слой является водорастворимым из-за чего следует быстрое растворение вещества при смешивании модификатора с жидкостью при изготовлении бетонной смеси. Снизить количество используемого цемента и регулировать физико-механические свойства бетона возможно с использованием химических добавок.

На данный момент используется огромное число добавок, которые можно систематизировать по механизму воздействия, химическому составу, главным техническим и технологическим эффектам.

Наиболее эффективные являются суперпластификаторы в состав которых входит нафталино- и меламиноформальдегидные смолы.

Действие суперпластификаторов можно описать – достижением бетонной смеси литой и подвижной консистенции. Для того что бы повысить физико-механические свойства бетона и снизить В/Ц отношение (достижения необходимого количества воды) необходимо 0,3-0,6 % вводимой добавки.

По нормативно-технической документации категорически запрещается добавление воды для повышения пластичности в раствор или начавший схватываться готовый бетон. Для решения этой проблемы необходимо производить смеси с показателями качества и учитывать время необходимое для транспортировки и укладки бетонной смеси.

Чтобы обеспечить соблюдение этих условий и избежать досрочного схватывания бетона, рекомендуется при приготовлении бетонной смеси добавлять к ним стабилизирующие добавки или замедлитель схватывания для



сохранения свойств во времени, так же возможно применение пластификатора (первую часть на заводе-изготовителе, вторую часть непосредственно в смеситель перед выгрузкой на объекте) [5].

Целью современного рынка строительной продукции является понижение себестоимости продукции с сохранением его качества и физико-технических свойств.

Самым дорогим компонентом состава бетона и раствора на основе портландцемента является вяжущее и для того что бы повысить конкурентоспособность ж/б изделий, и конструкции на рынке необходимо снизить использование портландцемента с помощью добавок.

#### Экспериментальные исследования

Для того что бы определить прочность бетона, необходимо замерить разрушающее усилие контрольных образцов бетона при статической нагрузке с постоянной скоростью нарастания усилия. Далее вычислить напряжение.

Изготовление стандартных образцов - бетонная смесь заполняется в формы, затем происходит уплотнение на вибростоле, после чего выдерживаются 24 часа во влажной среде.

Для получения точных результатов, необходимо соблюдать форму и размер образцов. После суток образцы необходимо извлечь и хранить 7, 14, 28 суток в нормальных условиях. Разрушение образцов происходит на гидравлическом прессе 125 и 250 т нагрузки. Кубы необходимо замерить и взвесить. При испытании нагружение передается плавно до полного разрушения образца.

Размеры образцов-кубов:

- 70,7x70,7x70,7 мм
- 100x100x100 мм

Влияние добавок и модификаторов на свойства мелкозернистого бетона

Состав бетона.

Мелкий заполнитель:

- Крупный природный песок ( $M_{кр.}=3,53$ ) карьера «Муллашовский»



- Дробленый песок из гранитного щебня (Мкр.=3,40) месторождения «Светлое»

Цемент:

- ЦЕМ II / А-К (Ш-П) 32,5Б
- ЦЕМ I 42,5Б

Модификаторы:

- микрокремнезем 10%, 20% и 30%

Суперпластификаторы:

- Cemmix CemPlast
- Sika Viskocrete
- STACHEMENT 2280

Данные по составу бетонной смеси с заполнителем песка из карьера «Муллашовский» указаны в таблице 1 Результаты испытания образцов на прочность представлены в таблице 2.

Таблица №1 - Состав бетонной смеси

№ партии	1	2	3
	(Ц+МК):П= 1:2	(Ц+МК):П = 1:2	(Ц+МК):П = 1:2
	30% МК	30%МК	30%МК
Единица измерения	кг/м <sup>3</sup>		
Цемент ЦЕМ I 42,5Б	787	787	866
МК	338	338	372
Песок «Муллашовский» (фр. 0-5)	2250	2250	2250
Вода	600	495	540
Суперпластификатор	11 мл «cemmix» Cem Plast - 1% от (Ц+МК)	11 мл Stachement -1% от (Ц+МК)	11 мл Sika - 1% от (Ц+МК)
В/Ц	0,533	0,44	0,436
Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	2157	2192	2216
Распływ на встряивающем столике, см	22	22,5	27,5



Таблица 2 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии		
	1	2	3
	R <sub>сж</sub> , МПа		
7 сут.	19,0	31,4	37,3
14 сут.	25,5	41,1	47,7
28 сут.	30,4	45,1	55,9

Муллашовский песок и цементный камень, разрушение происходит в зоне зерна заполнителя - цементный камень. Граница четкая, наблюдается хорошая связь.

Данные по составу бетонной смеси с заполнителем песок дробленый из гранита указаны в таблице 3 Результаты испытания образцов на прочность представлены в таблице 4.

Таблица 3 - Состав бетонной смеси

№ партии	4	5	6
	(Ц+МК):П = 1:2	(Ц+МК):П = 1:2	(Ц+МК):П = 1:2
	30%МК	30%МК	30%МК
Единица измерения	кг/м <sup>3</sup>		
Цемент ЦЕМ I 42,5Б	787	787	787
МК	338	338	338
Песок дробленый из гранита	2250	2250	2250
Вода	700	600	600
Суперпластификатор	11 мл Plast - 1% от (Ц+МК)	11мл Stachement - 1% от (Ц+МК)	11 мл Sika - 1% от (Ц+МК)
В/Ц	0,622	0,533	0,533
Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	2064	2201	2216
Распływ на встряхивающем столике, см	20,5	24	28



Таблица 4 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии		
	4	5	6
	R <sub>сж</sub> , МПа		
7 сут.	16,7	27,2	27,4
14 сут.	24,7	35,9	34,9
28 сут.	28,4	42,8	41,1

Сравним образцы бетона на заполнителе из песка карьера «Муллашовский» (партии №1-3) и образцов на заполнителе – песок дробленый из гранита (партии №4-6) построим диаграмму. Зависимость прочности образцов от вида заполнителя и пластификатора представлена на рисунке 1.

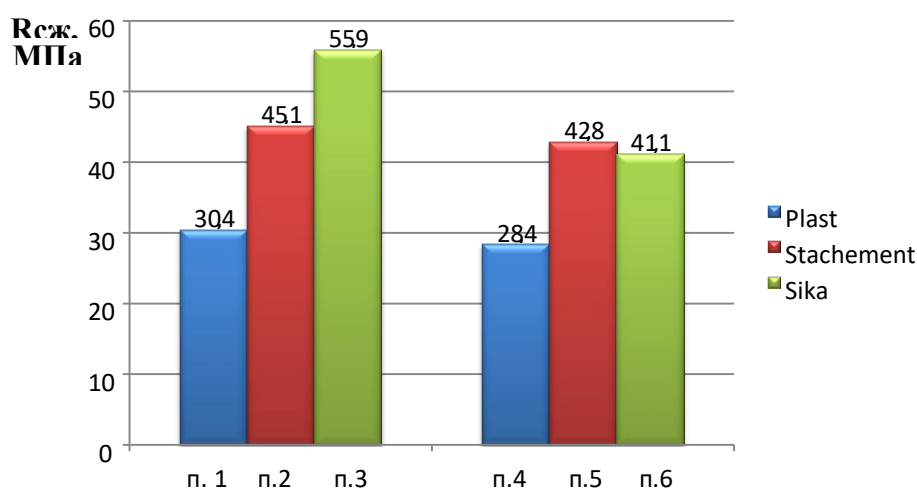


Рисунок 1 – Зависимость прочности образцов от вида заполнителя и пластификатора

Пробы стандартных образцов содержат 30 % микрокремнезема и 3 вида пластификаторов в количестве 1% от массы.

Проведя испытания на сжатие, прочность стандартных кубов с песком карьера «Муллашовский» (партия №1-3) результаты показали большую прочность, чем испытания образцов на дробленом песке из гранита (партия №4-6). Самую большую прочность показал образец на 28 сутки в который входил песок из Камского месторождения (55,9 МПа) и добавкой Sika.

Состав бетонной смеси с из песка карьера «Муллашовский» с содержанием 10%, 20% и 30% микрокремнезема и и 3 видов добавок в количестве 1% от массы, таблица 5.

Как влияет процентное содержание микрокремнезема и вид добавки на прочность бетона представлены в таблице 6.



Таблица 5 - Состав бетонной смеси

№ партии	7	8	9	10	11
	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:2
	10% МК	20%МК	30%МК	30%МК	30%МК
Единица измерения	кг/м <sup>3</sup>				
Цемент (Ульяновск) ЦЕМ II / А-К (Ш-П) 32,5Б	1012	900	787	787	787
МК	113	225	338	338	338
ПесокКамский(фр. 0-5)	2250	2250	2250	2250	2250
Вода	490	570	630	450	458
Суперпластификатор	11 мл СемPlast - 1% от (Ц+МК)	11 мл СемPlast - 1% от (Ц+МК)	11 мл СемPlast - 1% от (Ц+МК)	11 мл Stachment 1% от (Ц+МК)	11 мл Sika - 1% от (Ц+МК)
В/Ц	0,436	0,507	0,56	0,4	0,407
Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	2201	2142	2128	2216	2259
Расплав на встряхивающем столике, мм	23,5	22,0	20,5	23,0	23,0

Таблица 6 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии				
	7	8	9	10	11
	R <sub>сж</sub> , МПа				
7 сут.	40,8	32,6	25,8	45,1	48,6
14 сут.	44,2	40,8	29,8	50,0	54,6
28 сут.	56,4	44,2	36,6	61,0	68,0

Как зависит прочность бетона от вида цемента, сравним партии №1-3 и партии №7-11. В образцах содержится – песок карьера «Муллашовский», 30% микрокремнезема и 3 вида пластификатора в количестве 1% от массы. Зависимость прочности мелкозернистого бетона от вида цемента и вида пластификатора представлена на рисунке 2.





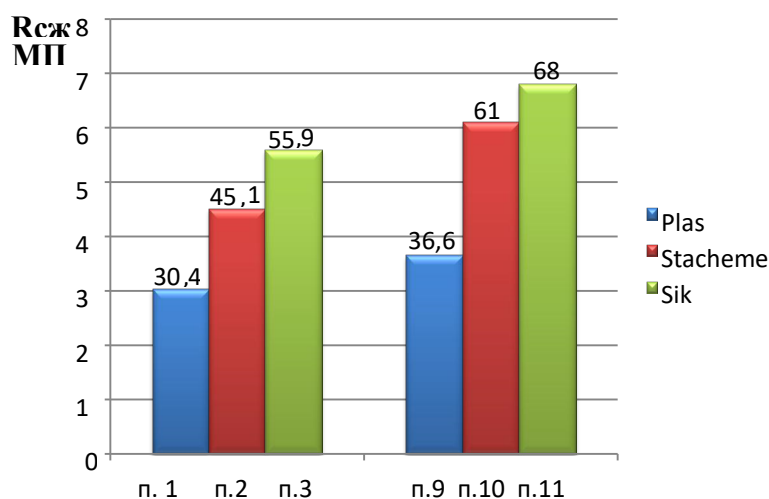


Рисунок 2 – Зависимость прочности образцов от вида цемента и пластификатора

По итогу проведенных опытов, на прочность стандартных кубов с заполнителем из муллашовского песка с портландцементом ЦЕМ I 42,5Б, получили наименьшую прочность на пластификаторе Plast (п.1) – 30,4 МПа, прочность образцов с пластификатором Stachement (п.2) по результатам испытаний возрастает на 48 % (45,1 МПа), далее прочность образцов с пластификатором Sika (п.3) возрастает ещё на 24 % (55,9 МПа). Из графика зависимости прочности образцов от вида цемента и пластификатора видно, что наибольший результат набора прочности показали образцы партии 3, состав которых: ЦЕМ I 42,5Б (70%), микрокремнезём (30%), песок карьера «Муллашовский», вода, суперпластификатор Sika.

Прочность образцов с заполнителем из песка карьера «Муллашовский» на шлакопортландцементе ЦЕМ II / А-К (Ш-П) 32,5Б была выявлена малая прочность на пластификаторе Plast (п.9) – 36,6 МПа, прочность образцов с пластификатором Stachement (п.10) по результатам испытаний возрастает на 67 % (61,0 МПа), далее прочность образцов с пластификатором Sika (п.11) возрастает ещё на 12 % (68,0 МПа). Из графика зависимости прочности образцов от вида цемента и пластификатора видно, что наибольший результат набора прочности показали образцы партии 11, состав которых: ЦЕМ II / А-К (Ш-П) 32,5Б (70%), микрокремнезём (30%), песок карьера «Муллашовский», вода, суперпластификатор Sika.



Суперпластификатор Sika при взаимодействии цемента с водой распадается и частично объединяет частицы цемента до больших образований, а также покрывает их слой. Силы притяжения молекул снижается (активация суперпластификатора происходит спустя 35 сек. после введения добавки).

Вследствии чего происходит замедление структурообразования, но способствует полному протеканию гидратации и создание однородной структуры. В результате адсорбции, количество воды сольватных оболочек снижается, подвижность смеси возрастает.

#### Заключение

По результатам экспериментальных исследований можно подытожить:

Была проведена оценка влияния цемента и пластификаторов на свойства и прочность бетона. Прочность зависит от количества цемента в бетонной смеси, пластификаторы влияют на удобоукладываемость, структуру смеси и пластичность

Одним их важных факторов является водоцементное отношение, которое на прямую влияет на прочность бетон. При низком содержании цемента–удобоукладываемость снижается, укладка смеси затрудняется, это приводит к понижению прочности и плотности бетона [1]. Чем больше содержание цемента в смеси, тем выше количества воды необходимо бетону, из-за чего происходит повышение пористости и уменьшении его прочности. Для этого применяем суперпластификатор, уменьшая количество воды в бетонной смеси.

При использовании суперпластификаторов сохраняются все заданные характеристики - плотность, удобоукладываемость, прочность и долговечность бетона, и происходит их оптимизация в требуемых соотношениях и пределах, на прочность бетонной смеси.

Были проведены исследования влияния мелкого заполнителя и фракции на прочность бетона. Исследовано и определено оптимальное процентное содержание модификатора и цемента.



### *Список литературы*

1. Алимов Л. А., Воронин В.В. Строительные материалы: учеб.пособие для бакалавров, обуч. по направлению "Строительство"/ Л.А. Алимов, В.В. Воронин. - М.: Академия, 2012. 319 с.
2. Баженов Ю.М., Демьянова В.С. Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны/ Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
3. Баженов Ю.М., Лукутцова Н.П., Матвеева Е.Г. Исследование наномодифицированного мелкозернистого бетона /Ю.М. Баженов, Н.П. Лукутцова, Е.Г. Матвеева// Вестник МГСУ. 2010. № 4. С. 415-421.
4. Баженов Ю.М., Харченко, А.И. Безусадочные мелкозернистые бетоны с использованием некондиционных песков /Ю.М. Баженов, А.И. Харченко // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 5. С. 86-88.
5. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. - М. : Изд – во АСВ. 2011. – 528 с.

