

**Шишканова Валентина Николаевна,**

*канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «ПГСUGH»;*

**Власов Станислав Александрович,**

*студент,*

*ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»,*

*г. Тольятти, Самарская область, Россия*

**Valentina N. Shishkanova,**

*PhD in Technical Science, associate professor;*

**Stanislav A. Vlasov,**

*Student,*

*Togliatty State University,*

*Togliatty, Samara region, Russia*

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ**

В данной статье проведен анализ результатов исследований самоуплотняющихся бетонов с использованием портландцемента с минеральными добавками, оказывающими уплотняющее и упрочняющее действие на структуру цементного камня.

**Ключевые слова:** самоуплотняющийся бетон; композиционное вяжущее; цементный камень; микрокремнезем; метакаолин; зола-уноса.

В современном строительстве для получения самоуплотняющихся бетонов надежного качества широкое распространение получило использование многокомпонентных композиционных вяжущих, в микроструктуре которых наблюдаются зерна портландцементного клинкера, минеральных наполнителей различной дисперсности и гидравлической активности, вода, межзерновые пустоты и поры воздуха.

Одним из наиболее распространенных материалов, используемых в качестве вяжущего в строительстве, является портландцемент. Его активность в качестве вяжущего определяется минералогическим составом, дисперсностью, наличием дефектов структуры клинкерных минералов и другими показателями [1].

По вещественному составу цементы подразделяют на пять типов, среди которых выделяют портландцемент с минеральными добавками. Высокодисперсные минеральные добавки (золошлаковые смеси, шлак, пуццолана, зола-уноса, глиеж или обожженный сланец, микрокремнезем, метакаолин, известняковую муку) вводят для повышения свойств, активности вяжущего, замены части цемента и утилизации техногенных отходов. Минеральные добавки оказывают уплотняющее и упрочняющее действие на структуру цементного камня и влияют на его долговечность [1]. Введение добавок и наполнителей в состав бетона позволяет не только обеспечить заполнение межзерновых пустот цементной матрицы, но и существенно улучшить контактную зону между цементным камнем и наполнителем.

Несмотря на такое большое количество минеральных добавок, их выбор при изготовлении бетонной смеси не всегда обоснован. Недостаточно исследована оптимальная степень замены портландцемента данными добавками в составе самоуплотняющегося бетона.

#### *Микрокремнезем.*

Микрокремнезем является одним из наиболее используемых минеральных наполнителей для получения бетонов высокого качества.

Крупность микрокремнезема составляет 0,1 микрона, что в 100 раз меньше среднего размера зерна цемента. Частицы микрокремнезема имеют гладкую поверхность и сферическую форму. Основным компонентом отхода является диоксид кремния (90-92%) в аморфной форме.

Микрокремнезем способствует уменьшению расхода цемента до 200-450 кг/м<sup>3</sup>, придает высокую прочность бетону на сжатие (60-80 МПа и более), что повышает долговечность бетонов за счет снижения водонепроницаемости и увеличения антикоррозионной стойкости.

Как и все пуццолановые материалы, микрокремнезем вступает в реакцию с гидроокисью кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , образующейся при гидратации портландцемента в процессе гидратации вяжущих соединений. Благодаря

высокой чистоте и повышенной дисперсности микрокремнезема, он способствует увеличению эффективности и скорости реакции, что зависит от содержания реактивного кремнезема. В сочетании с эффективными гиперпластификаторами микрокремнезем способен обеспечить прочность на сжатие, значительно превышающую прочность обычных бетонов.

Было проведено исследование влияния активной минеральной добавки микрокремнезема и эффективного суперпластификатора Sika Viskocrete 25RU на прочностные характеристики цементного камня. При изготовлении бетонных образцов в качестве крупного заполнителя был использован гранитный щебень фракции 5-10 мм, в качестве мелкого заполнителя – дроблёный песок из гранита. В качестве вяжущего использовался нормальнотвердеющий портландцемент ЦЕМ I 42,5Н. Микрокремнезём вводился в состав смеси в количестве 10, 20 и 30% от массы цемента. В состав каждой из смесей данной партии так же вводился суперпластификатор Sika Viskocrete 25RU в количестве 1% от массы цемента. Твердение образцов бетона происходило при нормальных условиях в течение 7, 14 и 28 суток.

Прочности образцов в 28-суточном возрасте составляют: при содержании микрокремнезема в количестве 10, 20 и 30% соответственно 54,5МПа, 56,5МПа и 59,0 МПа, что до 20% выше прочности контрольных образцов. Увеличение предела прочности при сжатии у образцов с 30% содержанием микрокремнезема по сравнению с прочностью образцов с 10% содержанием МК составляет 7,5%. Данное увеличение прочности бетона при добавлении микрокремнезема в бетонную смесь возможно объяснить обеспечением микроармирования цементного камня и тем, что высокодиспергированный микрокремнезем действует как химический компонент при образовании цементного камня. Микрокремнезем воздействует на процесс гидратации цемента, формирование контактной зоны между его зернами и цементным камнем, что в значительной степени определяется наличием  $\text{CaCO}_3$ .

*Высокоактивный метакаолин.*

В последние годы в качестве минеральной добавки при изготовлении бетона стали использовать высокоактивный метакраолин ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) – продукт обезвоживания минерала каолинита.

Частицы метакраолина примерно на порядок мельче частиц портландцемента. Поэтому при введении в бетонную смесь метакраолин, взаимодействуя с гидроксидом кальция с образованием низкоосновных гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, уплотняет и упрочняет структуру бетона [2]. Следует отметить, что добавка высокоактивного метакраолина позволяет уменьшить количество цемента при производстве бетона.

В процессе экспериментальных исследований высокоактивный метакраолин в мелкозернистую бетонную смесь добавлялся в количестве 5, 8, 10 и 15% от массы цемента. При этом в качестве вяжущего использовался бездобавочный портландцемент ЦЕМ I 42,5 Б, природные волжский и камский пески в качестве мелкого заполнителя, гиперпластификатор Sika ViscoCrete 25RU.

Оптимальная степень замены портландцемента высокоактивным метакраолином (ВМК) в составе мелкозернистого бетона равна 8%; благодаря этому в бетоне обеспечивается максимальная прочность при сжатии (Таблица 1) [2].

Таблица 1 – Прочность бетона с добавлением метакраолина

Количество ВМК, % от массы цемента	Предел прочности при сжатии, МПа		
	7 сут	28 сут	в водонасыщенном состоянии
0	36,1	46,2	42,0
5	39,3	57,1	52,5
8	43,4	58,2	54,1
10	38,2	52,4	47,1
15	42,5	56,4	45,2

Таким образом, введение ВМК в мелкозернистую бетонную смесь должно производиться в строго определенных дозировках, не превышающих

8% от массы цемента. Превышение установленной дозировки ВМК приводит к резкому снижению прочности мелкозернистых бетонов.

В результате реакции между метакаолином и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  происходит формирование и оптимизация структуры порового пространства. Достижение высокой прочности связано с сокращением пористости за счет образования и роста первичных кристаллических гидросиликатных фаз, возможной перекристаллизации и образования вторичных кристаллов, заполнения ими пространства на микроуровне.

#### *Зола-уноса.*

Зола-уноса представляет собой тонкодисперсный продукт высокотемпературной обработки минеральной части угля. Зола-уноса образуется при сжигании минеральной части угля, который находится в пылевидном состоянии в топках котлов и улавливается устройствами из дымовых труб.

Зола-уноса в составе бетонной смеси выполняет роль активной минеральной добавки, которая увеличивает общее количество вяжущего, а также служит микронаполнителем, активно влияющим на процессы структурообразования бетона.

Отличие золы-уноса от других минеральных наполнителей состоит в том, что она при введении в состав бетонной смеси, как правило, не ухудшает, а улучшает удобоукладываемость последней, что объясняется шаровидной формой частиц золы. Помимо этого введение золы-уноса приводит к снижению водоотделения бетонной смеси.

Бетонные смеси с оптимальной добавкой золы имеют достаточно высокую жизнеспособность и пригодны для транспортировки на дальние расстояния [3].

Замещение части цемента золой приводит к уменьшению усадочных деформаций бетона вследствие снижения водопотребности бетонной смеси. Уменьшение усадки объясняется также тем, что зола адсорбирует из цемента

растворимые щелочи с образованием устойчивых нерастворимых алюмосиликатов. Испытания бетона длительной нагрузкой показали, что введение золы также снижает ползучесть бетона. Введение оптимального количества золы-уноса (1,5%) позволяет повысить прочность цементного камня на 10-15%.

Стоит отметить, что добавление золы-уноса в бетонную смесь приводит к повышению коррозионной стойкости бетонов, а также повышает их водонепроницаемость [3].

После рассмотрения нескольких минеральных добавок было установлено, что применение гидравлически активного минерального наполнителя со специально подобранным гранулометрическим составом позволяет снижать водопотребность композиционного вяжущего, при одновременном улучшении его прочностных свойств.

Таким образом, введение минеральных добавок позволяет повысить прочностные характеристики бетонов. Оптимальное количество добавки зависит от ее дисперсности, твердости, плотности и модуля упругости. Данные добавки находят эффективное применение в технологии самоуплотняющихся бетонов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишканова В.Н. Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: учеб. пособие по дисциплине «Строительные материалы при реконструкции, восстановлении и капитальном ремонте зданий и сооружений» / В.Н. Шишканова. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2013. – 124 с.
2. Шишканова В.Н., Никитина К.В. Исследование влияния метаксаолина на водопоглощение и прочность бетона / В.Н. Шишканова, К.В. Никитина // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Идеи и проекты молодежи России». – Чебоксары: Изд-во НОУ ДПО «Экспертно-методический центр», 2019
3. Хозин В.Г. Эффективность применения золы-уноса Гусиозерской ГРЭС в составе цементов низкой водопотребности / В.Г. Хозин, О.В. Хохряков, А.В. Битцер, Л.А. Урханова // Строительные материалы. – 2011. – №7.