

# Studies of the mechanism of action of complex polyfunctional modifiers on the structure and properties of heavy concrete

Stroiteleva E. (Russian Federation)

## Исследования механизма воздействия комплексных полифункциональных модификаторов на структуру и свойства тяжелого бетона

Строителева Е. А. (Российская Федерация)

Строителева Елена Александровна / Stroiteleva Elena Aleksandrovna - кандидат технических наук, доцент, кафедра производства строительных конструкций и строительной механики, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар

**Аннотация:** работа посвящена снижению водоцементного отношения и увеличению прочности, водонепроницаемости и морозостойкости цементных бетонов с наполнителем из золы-уноса.

**Abstract:** this article focuses on the reduction of water-cement ratio and increase the strength, water resistance and frost resistance of cement concrete with a filler of fly ash.

**Ключевые слова:** зола-уноса; прочность при сжатии; водонепроницаемости; морозостойкость.

**Keywords:** fly ash; compressive strength; water resistance; frost resistance.

УДК 666.972.16

В последние годы подходы к назначению и разработке составов цементных бетонов стали изменяться. Главным приоритетом является обеспечение заданных технических характеристик цементных бетонов для различных отраслей промышленности. На сегодняшний день получают широкое развитие многокомпонентные составы бетонов, в составы которых входят кроме вяжущего и заполнителей также химические и минеральные добавки. В данной работе рассмотрена эффективность использования отходов тепловой энергетики при производстве строительных материалов.

Дальневосточные золы являются схожими по своему химическому составу [1], поэтому в качестве наполнителей в исследованиях применялась зола-унос Хабаровской ТЭЦ-3. Химический состав золы приведен в табл. 1. Основные характеристики наполнителя приведены в табл. 2.

Таблица 1. Химический состав, %

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
55,71	19,56	5,50	2,95	0,78	1,25	1,45		0,09	0,32

Таблица 2. Характеристики наполнителя

Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Активность по поглощению CaO, мг/г	П.П.П. %
0,246	3,3	850	69,6	12,8

Широко известными способами повышения пластичности смесей является применения добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ). Для получения бетонных смесей с требуемой подвижностью без применения пластифицирующих добавок необходимо увеличивать количество воды затворения, что приводит к существенной потере прочности, а также увеличению капиллярной пористости за счет испарения избыточной воды, что приводит к снижению морозостойкости бетона.

Проводившиеся ранее исследования показали, что использования Хабаровских зол приводит к резкому повышению водопотребности бетонной смеси, поскольку имеют неправильную форму частиц (рис.1) и пластифицирующим действием не обладают [2].

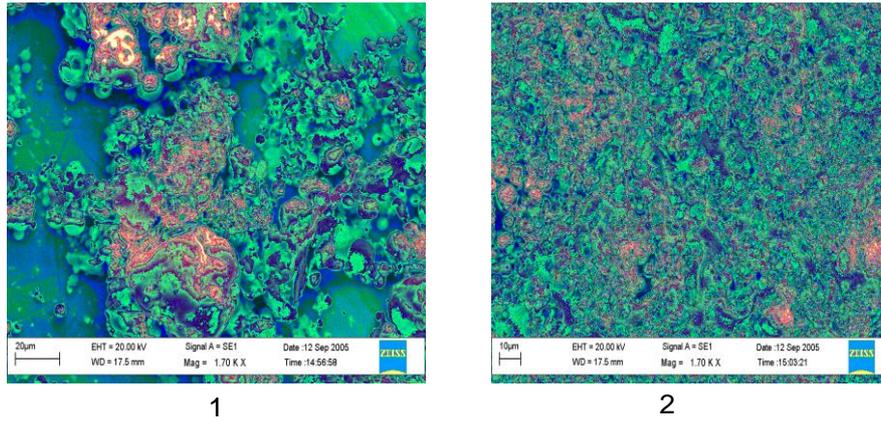


Рис. 1. Зола-уноса ТЭЦ-3 г. Хабаровска, увеличение 1700 крат.  
1-суспензия; 2-насыпная зола-уноса

На рис. 2 приведен гранулометрический состав золы-уноса, определенный с помощью лазерного дифракционного микроанализатора частиц «Анализетте 22» версии Комфорт.

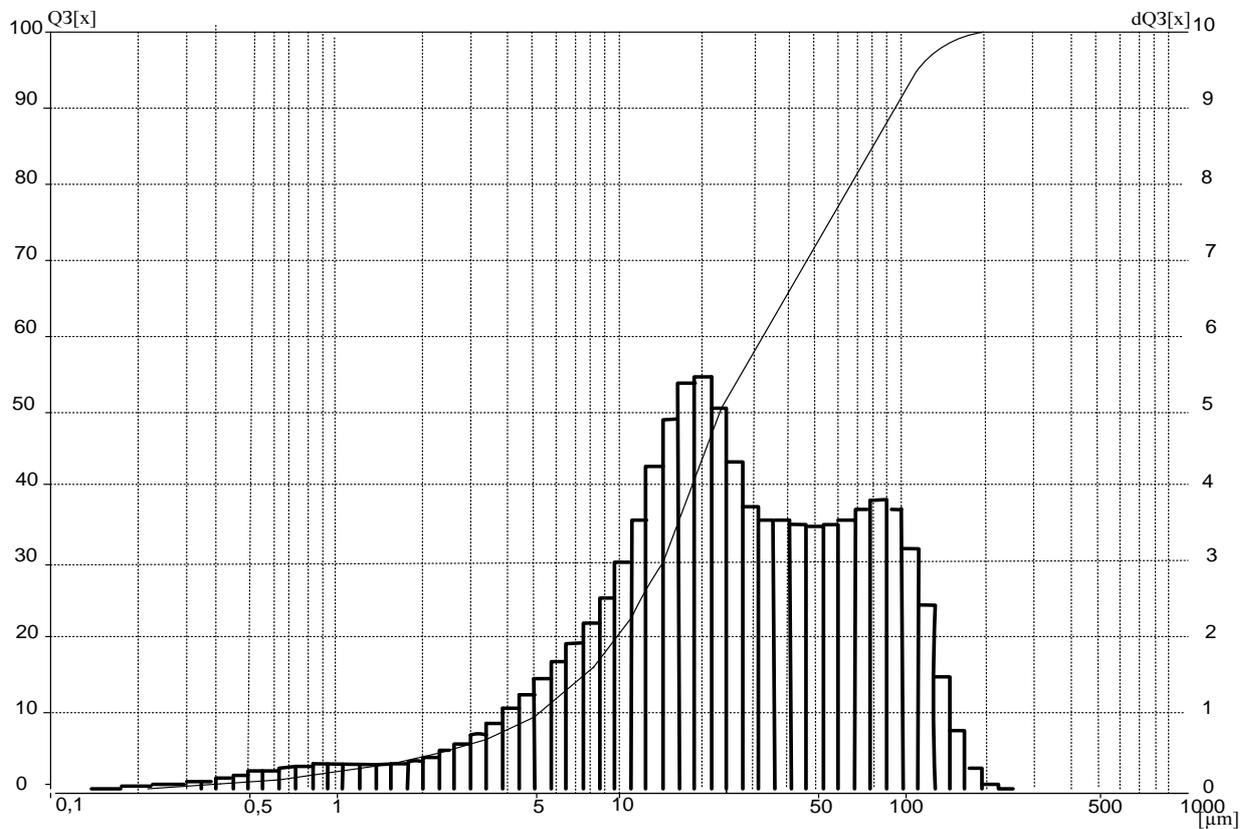


Рис. 2. Гранулометрический состав золы-уноса

Для выявления происходящих процессов модифицирования структуры производились исследования цементного камня, наполненного золой-уноса с добавками поверхностно-активных веществ с использованием дифференциально-термического анализа. В качестве добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) применялись суперпластификатор С-3 и гиперпластификатор Vinavil Flux 1. Испытания проводились как при нормально-влажностных условиях (НВУ) твердения, так и при тепловлажностной обработки (ТВО). Результаты ДТА представлены на рис. 3, 4 и в табл. 1.

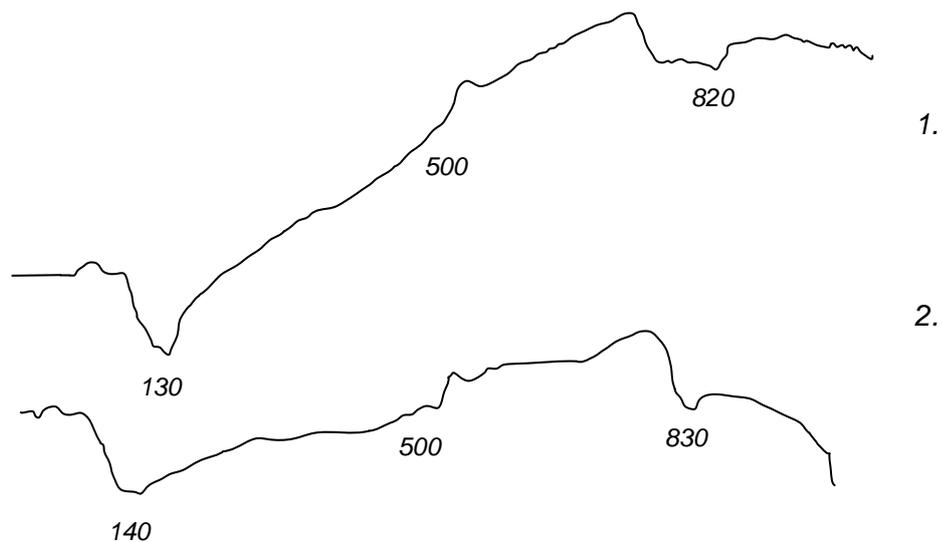


Рис. 3. ДТА – термограммы цементного камня на 28 суток  
 1 - состав с золой (В/Ц≠const) в возрасте 28 суток при НВУ, 2 - состав с золой (В/Ц≠const) в возрасте 28 суток при ТВО

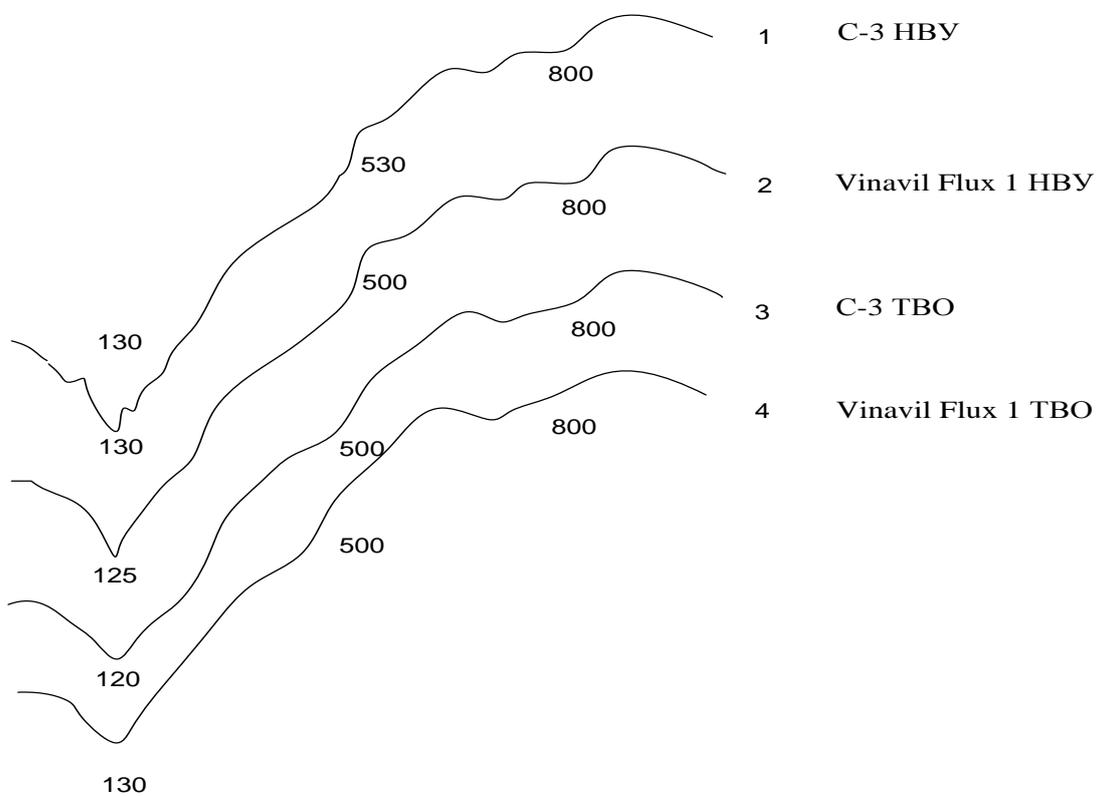


Рис. 4. ДТА – термограммы наполненного цементного камня на 28 суток с добавками

Таблица 3. Составы и результаты ДТА образцов наполненного цементного камня с добавками ПАВ

№ п/п	Количество золы, % от массы вяжущего	Добавка, %		Условия твердения	В/Ц	В/(Ц+З)	Хим. связ. H <sub>2</sub> O, %	Содержание, % Ca(OH) <sub>2</sub> своб.
		С-3	Vinavil Flux 1					
1	30	0,9	-	ТВО	0,39	0,25	13,57	0
2	30	-	0,05	НВУ	0,39	0,25	12,50	0
3	30	0,9	-	НВУ	0,39	0,25	15,00	0,32
4	30	-	0,05	ТВО	0,39	0,25	14,27	0

Составы приготавливались из условия обеспечения получения теста нормальной густоты. У составов без содержания добавок ПАВ (рис.3) содержание свободного Ca(OH)<sub>2</sub> близко к нулю [2]. Из этого можно сделать вывод, что использование наполнителя из золы-уноса позволяет связать практически всю свободную известь, образующуюся на разных этапах, поскольку зола вступает в реакцию с продуктами гидратации.

Общая отличительная особенность у всех образцов с рассмотренными добавками заключается в том, что при ТВО в диапазоне температур от 700 до 850°С явно выражен эндотермический эффект. При НВУ интенсивность эндотермического эффекта при тех же температурах значительно ниже. Это объясняется тем, что при пропаривании большее количество продуктов гидратации вступает в реакцию с золой.

Процесс формирования структуры цементного камня является самопроизвольным, обладающим определенными физико-химическими свойствами. Эти свойства обусловлены технологическими параметрами, такими как минералогический состав, тонкость помола, количество воды затворения, уплотнение, условия твердения и т.п. Наиболее распространенными технологическими приемами, влияющими на формирование структуры цементного камня, является введение различных добавок и гидротермальная обработка [3].

В данной статье приведены результаты исследования влияния замены части песка золой-уноса и условий твердения на прочностные показатели тяжелого бетона в зависимости от вводимых добавок С-3 и Vinavil Flux 1.

Первоначально изучалось влияние количества вводимых в состав тяжелого бетона наполнителя из золы-уноса и добавок ПАВ оценивалось по пределу прочности при сжатии образцов кубиков при постоянных значениях жесткости бетонной смеси, твердевших при тепловлажностной обработки.

При использовании суперпластификатора С-3 наполнитель из золы-уноса вводился в количестве 30% для замены мелкого заполнителя (песка), поскольку максимальная прочность достигается при замене песка 30% золой [2]. С-3 применялась в диапазоне от 0,7 до 1,1% от массы цемента. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4. Расход добавок и результаты испытаний прочности тяжелого бетона

№	Зола-уноса, %	С-3, %	R сж., МПа			В/Ц
			Сразу после ТВО	7 суток	28 суток	
1	30	0,7	17,83	21,33	25,03	1,045
2	30	0,9	19,5	21,5	25,5	1,022
3	30	1,1	16,1	22,66	23,33	0,97

Максимальное значение прочности при сжатии в возрасте 28 суток наблюдается при введении С-3 в количестве 0,9% от массы цемента и достигает величины 25,5 МПа.

Составы бетона с применением гиперпластификатора Vinavil Flux 1 приготавливались с заменой песка золой-уноса от 15 до 45% с шагом 15%. Vinavil Flux 1 вводился в состав бетона в количестве от 0,03 до 0,07% от общей массы сухой бетонной смеси. Результаты исследований приведены в табл. 5.

Использование в тяжелом бетоне Vinavil Flux 1 в количестве 0,05% при замене 15% песка золой-уноса позволяет получить прочность при сжатии до 22,76 МПа, что в 2 раза больше прочности такого же состава, не наполненного бетоном без применения добавок.

Таблица 5. Расход добавок и результаты испытаний бетона на прочность

№	Зола-уноса, %	Vinavil Flux 1, %	R сж., МПа			В/Ц
			Сразу после	7 суток	28 суток	

			ТВО			
1	15	0,03	13	19	22,23	0,95
2	15	0,05	15,66	16,66	22,76	0,9
3	15	0,07	4,33	8	11,13	0,86
4	30	0,03	11,6	28,16	28,5	1
5	30	0,05	5	9	12	0,9
6	30	0,07	3,66	6	9	0,88
7	45	0,03	18,16	18,83	20,33	1,09
8	45	0,05	18,9	19,33	27,5	1,02
9	45	0,07	18,33	25,66	32,16	0,95

Как видно из табл. 5 при замене 30% песка золой максимальная прочность 28,5 МПа достигается при расходе Vinavil Flux 1 в количестве 0,03%.

Использование Vinavil Flux 1 в количестве 0,07% при замене 45% песка золой позволяет получить максимальную прочность 32,16 МПа. Прочность в этом случае увеличивается относительно состава с заменой 15% песка золой и добавкой Vinavil Flux 1 0,05% на 30% и 13% по сравнению с составом при замене 30% песка золой и Vinavil Flux 1 в количестве 0,03%.

### *Литература*

1. *Ступаченко П. П.* Строительные материалы из отходов промышленности Дальнего Востока [Текст] / П.П. Ступаченко. – Владивосток, 1988. -173 с.
2. *Строительева Е. А.* Модификация структуры цементных бетонов наполнителем из золы-уноса ТЭС Дальнего Востока [Текст] / Е.А. Строительева; диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Хабаровск – 2006. - 162 с.
3. *Шпыновой Л. Г.* Физико-химические основы формирования структуры цементного камня [Текст] / под редакцией Л.Г. Шпыновой. Львов: Вища школа. Изд-во при ЛЬВОВ. ун-те, 1981. -160 с.
4. *Строительева Е. А.* Применение кислых зол в цементных бетонах. International scientific review. Germany. Munich, 2015. № 2(3) – С. 18-22.