

## ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫЕ МАЛОЦЕМЕНТНЫЕ БЕТОНЫ С ДОБАВКОЙ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА

<sup>1</sup>Минаков Ю.А., <sup>1</sup>Кононова О.В., <sup>1</sup>Анисимов С.Н., <sup>1</sup>Смирнов А.О., <sup>1</sup>Лешканов А.Ю.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3), e-mail: KononovaOV@volgatech.net, ansernik3@gmail.com

Исследовано влияние микрокремнезема МК-85 на прочность модифицированного бетона с пониженным расходом цемента. Для модификации бетона применялся поликарбоксилатный суперпластификатор Glenium® ACE 430. Исследованы составы бетона, содержащие 150-210 кг/м<sup>3</sup> цемента. Установлено, что применение микрокремнезема приводит к увеличению водопотребности равноподвижных бетонных смесей. Применение в бетоне суперпластификатора Glenium® ACE 430 сдерживает рост водопотребности бетонной смеси с микрокремнеземом. Поликарбоксилатный суперпластификатор Glenium® ACE 430, в количестве 1,5 % от массы цемента, снижает водопотребность бетонной смеси на 15-25 %. 10 % микрокремнезема от массы цемента в немодифицированных составах с расходом цемента 150 кг/м<sup>3</sup> увеличивает прочность бетона на 13%. Совместное использование микрокремнезема и суперпластификатора Glenium® ACE 430 позволило получить бетон класса В25 при расходе цемента 210 кг/м<sup>3</sup>.

Ключевые слова: бетон, микрокремнезем, суперпластификатор, низкий расход цемента, подвижность, водопотребность.

## PLASTICIZED LOW-CEMENT CONCRETE WITH SILICA FUME ADDITION

<sup>1</sup>Minakov Y.A., <sup>1</sup>Kononova O.V., <sup>1</sup>Anisimov S.N., <sup>1</sup>Smirnov A.O., <sup>1</sup>Leshkanov A.Y.

<sup>1</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (424000, Yoshkar-Ola, Lenin square,3) e-mail: KononovaOV@volgatech.net, ansernik3@gmail.com

The MK-85 silica fume effect on the reduced cement consumption modified concrete strength studied. Glenium® ACE 430 polycarboxylatesuperplasticizer used to modify the concrete. Concrete containing 150-210 kg/m<sup>3</sup> of cement studied. The use of silica fume was found to results in equal flowability concrete mixtures water demand increase. The use of Glenium® ACE 430 superplasticizer in concrete restrains the concrete with silica fume water demand growth. Glenium® ACE 430 polycarboxylatesuperplasticizer in an amount of 1.5% by the cement weight, reduce water demand of the concrete mix by 15-25%. 10 % by the cement weight microsilica additive in unmodified cement compositions with a rate of cement at 150 kg/m<sup>3</sup> increases concrete strength by 13%. Sharing silica fume and Glenium® ACE 430 superplasticizer yielded class B25 concrete at 210kg/m<sup>3</sup> cement consumption.

Keywords: concrete, silica fume, superplasticizer, low cement consumption, flowability, water demand.

Получение востребованных в современной строительной индустрии самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов с высокими физико-техническими и эксплуатационными характеристиками требует применения эффективных пластифицирующих и тонкодисперсных активных минеральных добавок [1,2, 4]. В качестве последних широко используются отходы и попутные продукты различных производств. Одной из таких минеральных добавок является микрокремнезем (МК).

МК состоит из частиц активного оксида кремния сферической формы и представляет собой побочный продукт производства ферросплавов. Средний размер частиц МК составляет 0,1...0,05 мкм, т. е. примерно в 100 раз меньше среднего размера частиц цемента. Благодаря столь большой дисперсности и аморфному состоянию, МК имеет высокую пуццолановую активность и является эффективным микронаполнителем [6].

Являясь активной минеральной добавкой, МК проявляет в бетоне два основных эффекта: микронаполняющий и пуццолановый. Основным аспектом первого считается заполнение его частицами в бетоне пустот между зернами цемента. Кроме того, мельчайшие зерна МК исполняют роль центров кристаллизации [6].

Пуццолановый эффект проявляется во взаимодействии МК с гидроксидом кальция, выделяемого при гидратации цемента. Образование прочных и устойчивых низкоосновных гидросиликатов кальция приводит к улучшению свойств цементного камня. В бетонах происходит существенное увеличение объема гелевых пор и снижение объема капиллярных пор, вследствие чего повышаются плотность, водонепроницаемость, морозостойкость [1, 6].

Применение МК целесообразно в комплексе с водоредуцирующими добавками, такими как суперпластификаторы (СП), поскольку МК, в виду своей высокой дисперсности, поглощает достаточно большое количество воды, и без СП весь эффект от активной минеральной добавки сводится к минимуму, а в ряде случаев приводит к снижению прочностных характеристик бетона [1, 2,5,6].

Новое поколение СП, полученных на базе поликарбоксилатных эфиров, обеспечивает высокую подвижность и связность бетонных смесей при низких значениях водоцементного отношения, длительную сохраняемость их свойств [1,7]. Для СП на основе поликарбоксилатов характерно наличие анионной основной и гидрофобной незаряженных боковых цепей, действие которых вызывает стерическое отталкивание частиц твердой фазы. Вид и длина основной, а также длина и частота расположения боковых цепей могут варьироваться у молекул различных СП, что позволяет результативно управлять процессами адсорбции этих СП на зернах вяжущего [2, 4,8, 9].

**Целью исследования** являлось изучение влияния содержания МК на прочность бетона с пониженным расходом цемента, модифицированного поликарбоксилатным СП Glenium® ACE 430 [3].

#### **Материалы и методы исследования**

Исследовано влияние содержания микрокремнезема МК-85 (ТУ 5743-048-02495332-96) на прочность бетона с пониженным расходом цемента, модифицированного поликарбоксилатным СП Glenium® ACE 430 производства компании BASF [3]. В качестве вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства ЗАО «Ульяновскцемент». В качестве крупного заполнителя использовался плотный доломитовый щебень, с прочностью по дробимости 1200, состоящий из смеси двух фракций: 5/10 мм – 60 % и 10/20 мм – 40 % по массе. В качестве мелкого заполнителя применялся природный мелкозернистый кварцевый песок с модулем крупности  $M_k=1,9$ .

Смеси приготавливались в лабораторном смесителе. Поликарбоксилатный СП Glenium® ACE 430 вводился в бетонную смесь с последней третью воды затворения после пятиминутного перемешивания. После этого смесь дополнительно перемешивалась в течение 3 минут. Подвижность смесей определялась по осадке конуса.

Из подвижных бетонных смесей виброуплотнением, в течение 10 с, формовались образцы-кубы размерами 100×100×100мм. В возрасте 3, 7 и 28 суток нормального твердения на испытательном прессе периодически контролировалась их прочность при сжатии.

Исследовались образцы бетона с расходом цемента 150, 180 и 210 кг/м<sup>3</sup>. Содержание МК варьировалось от 2 до 10 % от массы цемента. Содержание поликарбоксилатного СП Glenium® ACE 430 – 0 до 1,5 %.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В таблице 1 представлены составы равноподвижных бетонных смесей с маркой по удобоукладываемости ПЗ (ОК=12±2см), а также результаты испытания бетонов.

Анализ водопотребности равноподвижных бетонных смесей показывает, что увеличение содержания микрокремнезема от 2 до 10 % приводит к повышению водоцементного отношения на 17-25 %. Скомпенсировать рост водопотребности бетонной смеси можно с помощью суперпластификатора Glenium ACE 430. Введение суперпластификатора на основе поликарбоксилатного эфира Glenium® ACE 430 в количестве 1,5 % от массы цемента в бетон, содержащий 10 % микрокремнезема, уменьшает водопотребность бетонной смеси на 15-25% в зависимости от содержания цемента. При введении суперпластификатора Glenium® ACE 430 в количестве 1,5 % и при повышении содержания микрокремнезема от 2 до 10% МК водоцементное отношение бетонной смеси с расходом цемента 180-210 кг понизилось в среднем на 10 %. Исследование кинетики роста прочности бетонов позволило выявить замедление роста прочности при содержании суперпластификатора в количестве 1,5 % от массы цемента в возрасте 3 суток.

На рисунке 1 показана диаграмма прочности при сжатии модифицированного бетона с расходом цемента 150 кг/м<sup>3</sup> в возрасте 28 суток.

Результаты показывают, что повышение содержания МК с 2 до 10% в немодифицированных составах приводит к увеличению прочности на 13%. При этом водоцементное отношение равноподвижных смесей возросло с 0,64 до 0,75, то есть на 17 %.

**Таблица 1**

**Предел прочности составов тяжелого бетона с микрокремнеземом**

№ п/п	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг/м <sup>3</sup>	Содержание добавок, % от массы цемента	В/Ц	Средний предел прочности при сжатии, МПа
-------	---	--	-----	--

	Щебень	Песок	Цемент	МК-85	Glenium ACE 430		3 сутки	7 сутки	28 сутки
1	1250	750	150	2%	0,00%	0,64	7,6	13	16,8
2					0,75%	0,63	9,3	14,6	19,2
3					1,50%	0,60	11,8	16,9	20,8
4				6%	0,00%	0,74	8,4	12,4	17,2
5					0,75%	0,71	9,8	11,9	20,4
6					1,50%	0,64	12,0	16,0	23,2
7				10%	0,00%	0,75	10,9	13,6	19,0
8					0,75%	0,72	11,6	15,6	21,4
9					1,50%	0,65	9,9	15,4	24,8
10	1250	750	180	2%	0,00%	0,65	15,3	20,0	23,4
11					0,75%	0,59	14,8	20,6	24,5
12					1,50%	0,55	10,9	18,7	25,2
13				6%	0,00%	0,66	12,2	15,2	23,7
14					0,75%	0,60	12,8	17,7	25,5
15					1,50%	0,57	12,7	17,3	26,4
16				10%	0,00%	0,69	12,3	18,6	24,3
17					0,75%	0,61	13,8	19,8	26,6
18					1,50%	0,57	13,0	16,4	27,9
19	1250	740	210	2%	0,00%	0,53	20,1	25,7	31,2
20					0,75%	0,50	19,2	27,0	32,7
21					1,50%	0,48	15,5	26,3	33,2
22				6%	0,00%	0,57	16,7	26,8	30,0
23					0,75%	0,52	19,2	25,8	33,0
24					1,50%	0,49	17,1	24,2	35,1
25				10%	0,00%	0,66	14,1	21,0	28,7
26					0,75%	0,53	18,5	25,1	33,6
27					1,50%	0,49	18,9	23,9	37,8

Повышение прочности можно объяснить микронаполняющим и пуццолановым эффектом минеральной добавки [6]. Отмечено интенсивное повышение прочности бетонов при введении суперпластификатора Glenium® ACE 430. Введение 1,5 % суперпластификатора и увеличение содержания микрокремнезема с 2 до 10 % позволило повысить прочность бетонной смеси от 24 до 30 %.

В составах с различным содержанием микрокремнезема влияние суперпластификатора на кинетику роста прочности идентично. Совместное применение 10% микрокремнезема и 1,5% суперпластификатора Glenium ACE 430 позволяет увеличить прочность в сравнении с контрольным составом на 48%.

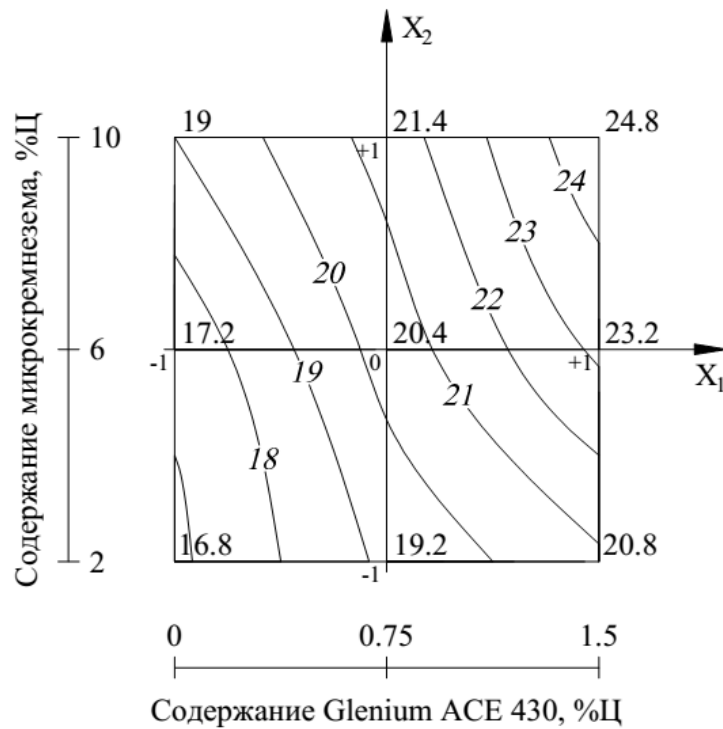


Рис.1. Диаграмма прочности при сжатии бетона (МПа) с расходом цемента  $150 \text{ кг/м}^3$  в возрасте 28 суток в координатах:  $X_1$  – содержание Glenium® ACE 430, в % от массы цемента  $X_2$  – содержание микрокремнезема МК-85, в % от массы цемента

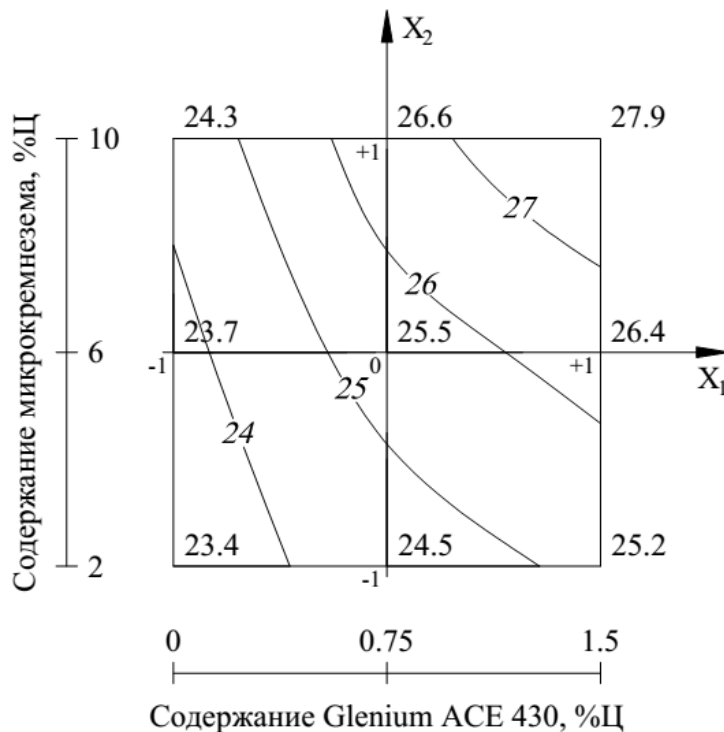
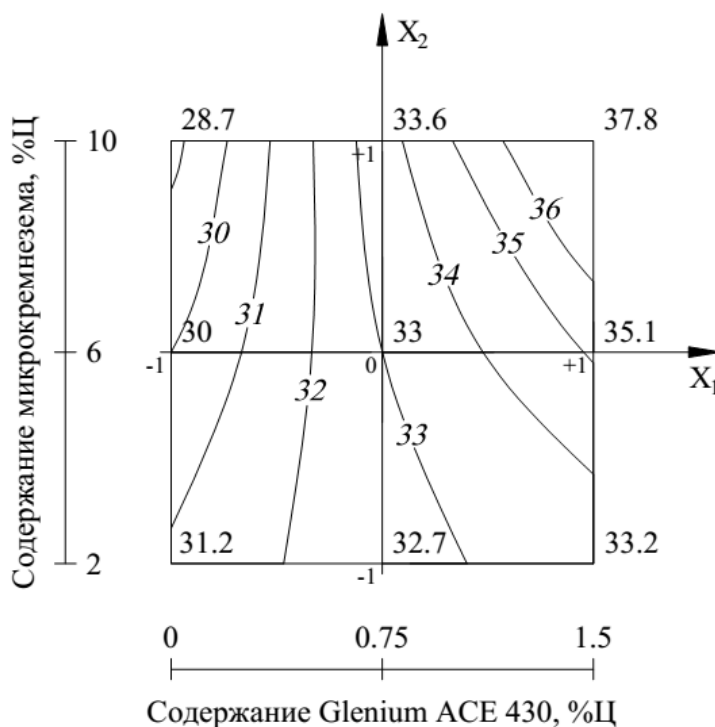


Рис.2. Диаграмма прочности при сжатии бетона (МПа) с расходом цемента  $180 \text{ кг/м}^3$  в возрасте 28 суток в координатах:  $X_1$  – содержание Glenium® ACE 430, в % от массы цемента  $X_2$  – содержание микрокремнезема МК-85, в % от массы цемента

На рисунке 2 показана диаграмма прочности бетона при сжатии бетона с расходом цемента  $180 \text{ кг/м}^3$ .

При повышении содержания микрокремнезема с 2 до 10 % в немодифицированных составах прочность бетона с расходом цемента  $180 \text{ кг/м}^3$  увеличивается незначительно – на 4%. В присутствии 1,5 % суперпластификатора Glenium® ACE 430 увеличение содержания МК от 2 до 10 % позволяет увеличить прочность бетонной смеси до 10%.

Введение в бетон, содержащий 2 % микрокремнезема, добавки Glenium® ACE 430 в количестве 1,5% от массы цемента позволяет увеличить прочность бетона на 8%. Совместное применение 10% микрокремнезема и 1,5% суперпластификатора приводит к повышению прочности бетона на 19%.



*Рис.3. Диаграмма прочности при сжатии бетона (МПа) с расходом цемента  $210 \text{ кг/м}^3$  в возрасте 28 суток в координатах:  
 $X_1$  – содержание Glenium® ACE 430, в % от массы цемента  
 $X_2$  – содержание микрокремнезема МК-85, в % от массы цемента*

На рисунке 3 показана диаграмма прочности при сжатии бетона с расходом цемента  $210 \text{ кг/м}^3$  в возрасте 28 суток.

При расходе цемента  $210 \text{ кг/м}^3$  при добавлении МК в составы без СП наблюдается снижение прочности до 8%, что обусловлено повышением водоцементного отношения равноподвижных бетонных смесей.

В присутствии 1,5 % суперпластификатора повышение содержания микрокремнезема от 2 до 10 % позволяет увеличить прочность бетонной смеси на 14% .

Комплексное использование 10% МК и 1,5% СП приводит к повышению прочности бетона на 21%.

### **Выводы**

1. Установлено, что применение микрокремнезема приводит к увеличению водопотребности равноподвижных бетонных смесей. Применение в бетоне суперпластификатора Glenium® ACE 430 сдерживает рост водопотребности бетонной смеси с микрокремнеземом.
2. Поликарбоксилатный суперпластификатор Glenium® ACE 430, в количестве 1,5 % от массы цемента, снижает водопотребность бетонной смеси на 15-25 %.
3. 10% микрокремнезема от массы цемента в немодифицированных составах с расходом цемента 150 кг/м<sup>3</sup> увеличивает прочность бетона на 13%.
4. Совместное использование микрокремнезема и суперпластификатора Glenium® ACE 430 позволило получить бетон класса В25 при расходе цемента 210 кг/м<sup>3</sup>.

### **Список литературы**

1. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы //Строительные материалы.- 2006.-№ 10.- С. 4-7.
2. Гамалий Е.А., Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я. Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбоксилатного пластификатора // Вестник ЮУрГУ. – 2009. - №16.- С. 29-35.
3. Добавки в бетон. Технический каталог; ноябрь, 2009.- М.: «BUSF ConstructionChemicals», 2009.- 136 с.
4. Добшиц Л.М., Кононова О.В., Анисимов С.Н. Кинетика набора прочности цементного камня с модифицирующими добавками //Цемент и его применение.- 2011.- № 4.- С. 104-107.
5. Добшиц Л.М., Кононова О.В., Анисимов С.Н., Лешканов А.Ю., Смирнов А.О. Влияние кварцевого наполнителя и суперпластификатора Glenium® ACE 430 на раннюю прочность мелкозернистого бетона с ускорителем твердения// Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–9. – С. 1901-1905
6. Зоткин А.Г. Бетоны с эффективными добавками. Уч.-практич. пособие // Москва-Вологда: Изд. Инфра-Инженерия, 2014. – 160 с.
7. Синайко Н.П. Новые бетоны самоуплотняющегося типа. Добавки Relanorm и средства испытаний /Будівельні матеріали, виробити та санітарнатехніка.- № 39.- 2011.- С.95.
8. Ушеров-Маршак А. В. Добавки нового поколения //Химические и минеральные добавки в бетон. - Харьков: Колорит, 2005. - С. 45-50.

9. Lothenbach, B. The influence of superplasticizers on the hydration of Portland cement / B. Lothenbach, F. Winnefeld, R. Figi // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. -Montreal, 2007.-P. 211-233.

**Рецензенты:**

Краснов А.М., д.т.н., профессор, профессор кафедры строительных технологий и автомобильных дорог ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола;

Салихов М.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительных технологий и автомобильных дорог ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Пенза.