

Влияние суперпластификаторов на водоудерживающую способность цемента и свойства самоуплотняющегося бетона

Л.И. Касторных, В.Э. Березовой, Г.О. Будагянц
Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Исследовано влияние суперпластификаторов на основе поликарбоксилатов на водоудерживающую способность цемента и свойства высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонов. В ходе исследований установлено, что водоудерживающая способность цемента в присутствии конкретной добавки отражает её потенциальную активность и является весьма важной характеристикой при выборе пары «цемент-суперпластификатор». Реологическая активность суперпластификатора с конкретным цементом оценивалась по величине предельных напряжений сдвига цементных суспензий. Для оценки состава самоуплотняющегося бетона следует применять коэффициент использования цемента в бетоне, отражающий его техническую и экономическую эффективность.

Ключевые слова: водоудерживающая способность цемента, реологическая активность суперпластификатора, самоуплотняющийся бетон, прочность бетона, коэффициент использования цемента.

При производстве бетонных смесей качество применяемых материалов играет решающую роль, определяя как технические характеристики бетона, так и себестоимость готовой продукции. К цементам, помимо основных требований по прочности и водопотребности, предъявляются и дополнительные – низкое водоотделение, высокие темпы твердения в ранние сроки, эффективность при пропаривании. Перечисленные требования особенно важны для цемента, используемых для приготовления самоуплотняющихся бетонных смесей. Высокая водоудерживающая способность цемента и рациональный состав заполнителей должны обеспечивать требуемые показатели нерасслаиваемости, однородности и стабильности смесей в течение продолжительного времени.

Самоуплотняющиеся бетоны (далее СУБ) могут быть приготовлены только при использовании суперпластификаторов нового поколения на основе поликарбоксилатов и полиакрилатов. Из-за высокой эффективности добавок производители традиционно называют их гиперпластификаторами.

Исследованию влияния новых суперпластификаторов на свойства цементного камня и бетона посвящено много работ, как в зарубежной, так и отечественной строительной практике [1 – 5]. Но высокая чувствительность гиперпластификаторов к химическому и минералогическому составу вяжущего, к наличию в заполнителе глинистых примесей, требует проведения исследований по определению вида и дозировки добавки для конкретного цемента и конкретных производственных условий.

Цель настоящей работы – установить водоудерживающую способность цементов в присутствии суперпластификаторов, и оценить их влияние на свойства высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонов.

Выбор суперпластификаторов был обоснован доступностью на строительном рынке и высоким разжижающим действием (таблица 1).

Таблица № 1

Характеристика суперпластификаторов

Наименование	Характеристика
МС Vauchemie Muraplast FK 63 (FK 63)	Гиперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов, обладающий сильным разжижающим действием
Реопласт ПКЭ 2101 (ПКЭ 2101)	Гиперпластифицирующая добавка на основе эфира поликарбоновых кислот для регулирования удобоукладываемости, связности и сохраняемости смесей, а также для уменьшения водоцементного отношения и повышения прочности бетона
Реопласт ПКЭ 2105 (ПКЭ 2105)	Гиперпластифицирующая добавка на основе полимеров поликарбоксилатных простых эфиров для производства железобетонных изделий в заводских условиях для быстрого набора ранней прочности бетона

В исследованиях использованы: бездобавочный портландцемент ОАО «Новоросцемент» завода «Пролетарий» марки ПЦ 500-Д0 и портландцемент с минеральными добавками сульфатостойкий ОАО «Верхнебаканский цементный завод» класса ЦЕМII/A-П 42,5 СС.

Минералогический состав и основные характеристики цементов представлены в таблице 2.

Таблица № 2

Характеристика цементов

Вид цемента	Состав, %							НГ _{шт}	S _{уд} , см ² /Г
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	SO ₃	MgO	R ₂ O		
ПЦ 500-Д0	63,4	15,1	5,1	13,5	3,06	0,96	0,65	24,75	3520
ЦЕМШ/А-П 42,5 СС	65,0	12,0	4,0	13,0	2,8	0,41	0,46	27,5	4015

Для приготовления бетонных смесей использованы следующие заполнители:

– песок кварцевый природный карьера «Цыганский» по ГОСТ 8736: насыпная плотность 1445 кг/м³, модуль крупности 1,13, пустотность 45,5 %;

– щебень из песчаника ООО «Донской камень» фракции 5 – 10 мм по ГОСТ 8267: насыпная плотность 1500 кг/м³, пустотность 43,6 %, прочность 120 МПа.

Влияние суперпластификаторов на водоудерживающую способность цементов установлено по коэффициенту водоотделения, %, определяемого по методике ГОСТ 310.6:

$$K_e = (a - b) \cdot 100 / a, \quad (1)$$

где a – первоначальный объем цементного теста, см³; b – объем осевшего теста, см³.

Дозировка суперпластификаторов назначалась как средняя величина интервала, рекомендуемого производителями добавок: 0,75 % – для Реопласт ПКЭ, 1 % – для Muraplast FK 63.

Результаты определения водоудерживающей способности цементов в присутствии суперпластификаторов на основе эфиров поликарбоксилатов приведены в таблице 3.

Таблица № 3

Коэффициент водоотделения цементов с суперпластификаторами

Вид цемента	Коэффициент водоотделения, %			
	Без добавки	МС Ваuchemie	Реопласт	
		FK 63	ПКЭ 2101	ПКЭ 2105
ПЦ 500-Д0-Н	17,2	22,8	20,2	19,4
ЦЕМII-42,5Н-СС	19,8	30,5	24,4	22,0

В ходе исследований установлено, что водоудерживающая способность цементов с суперпластификаторами различна, а характер водоотделения одинаков.

Принято считать, что универсальным критерием качества цемента, характеризующим его потенциал, является удельная поверхность [6]. При повышении удельной поверхности вяжущего должны увеличиваться водоудерживающая способность, прочность в ранние сроки твердения и в проектном возрасте, эффективность при пропаривании.

Выполненные нами исследования не подтверждают данное утверждение. Несмотря на более высокую удельную поверхность Верхнебаканского цемента с минеральными добавками его водоотделение на 15 % выше бездобавочного. Это объясняется тем, что высокая удельная поверхность цемента класса ЦЕМII/A-II 42,5 СС формируется в основном за счет тонкой фракции легкоразмалываемой кремнеземсодержащей добавки, а более крупные частицы портландцементного клинкера, склонные к седиментации, повышают водоотделение [6]. В присутствии всех исследованных суперпластификаторов водоотделение цемента с минеральными добавками также увеличивается в большей степени, чем бездобавочного цемента.

Анализируя техническую литературу, авторы статьи [7] показывают, что водоотделение цемента не несет технологической нагрузки при производстве бетонных смесей. Проведенные нами исследования позволяют

утверждать, что водоудерживающая способность цемента в присутствии конкретной добавки отражает её реологическую активность и является весьма важной характеристикой при выборе пары «цемент-суперпластификатор». Чем выше водоотделение цемента в присутствии суперпластификатора, тем выше его потенциальная активность, проявляющаяся при приготовлении бетонной смеси [8, 9].

Реологические характеристики, отражающие поведение структурированных упруго-пластических тел, играют важную роль для исследования как цементных систем, так и самоуплотняющихся бетонных смесей [10]. Поэтому нами в работе реологическая активность суперпластификатора с конкретным цементом оценивалась по величине предельных напряжений сдвига цементных суспензий τ_0 , Па (согласно [11]):

$$\tau_0 = \frac{hd^2}{kD^2}\rho, \quad (2)$$

где h , d – высота и диаметр, м, соответственно минивискозиметра Суттарда; ρ – средняя плотность цементной суспензии, кг/м³; $k = 2$ – по [11]; D – диаметр расплыва цементной суспензии, м.

Данная методика доступна и успешно опробована другими исследователями [8, 12].

Для сопоставимости цементные суспензии приготовлены с постоянным В/Ц = 0,52 и различными суперпластификаторами, дозировка которых изменялась в интервале от 0,25 до 2,0 %. Испытания проводили до появления заметных признаков водоотделения. Результаты исследований приведены в таблице 4. Влияние дозировки и вида добавок на предельные напряжения сдвига цементных суспензий представлены на рис. 1.

Выполненные исследования свидетельствуют, что суперпластификаторы Muraplast FK-63, ПКЭ 2101 и ПКЭ 2105 вполне совместимы с цементом класса ЦЕМII/A-П 42,5 СС.

Таблица №4

Растекаемость и физико-механические свойства цементных суспензий

Добавка	Дозировка, %	ПЦ500-Д0			ЦЕМ II/A-П 42,5 СС		
		Диаметр расплыва, см	Средняя плотность, кг/м ³	Предельные напряжения сдвига, Па	Диаметр расплыва, см	Средняя плотность, кг/м ³	Предельные напряжения сдвига, Па
-	-	13,0	1890	14,0	14,0	1850	11,8
Реопласт ПКЭ 2101	0,25	13,0	1854	13,7	16,5	1880	8,6
	0,5	22,0	1840	4,75	28,0	1865	3,0
	0,75	25,0	1820	3,64	34,5	1865	2,0
	1,0	30,5	1810	2,43	39,5*	1855	1,5
	1,25	32,0	1800	2,2	-	-	-
	1,5	32,5*	1800	2,1	-	-	-
Реопласт ПКЭ 2105	0,25	16,0	1895	8,4	18,5	1945	7,1
	0,5	21,0	1895	5,4	26,5	1905	3,4
	0,75	33,0	1890	2,0	35,0	1895	1,9
	1,0	36,0*	1885	1,8	38,0*	1890	1,6
Muraplast FK-63	0,5	15,7	1968	10,0	25,8	1970	3,7
	1,0	19,0	1965	6,7	30,4	1960	2,6
	1,5	24,5	1955	4,1	35,0	1965	2,0
	2,0	27,0*	1925	3,3	40,5*	1955	1,4

Примечание. * - заметное водоотделение цементной суспензии.

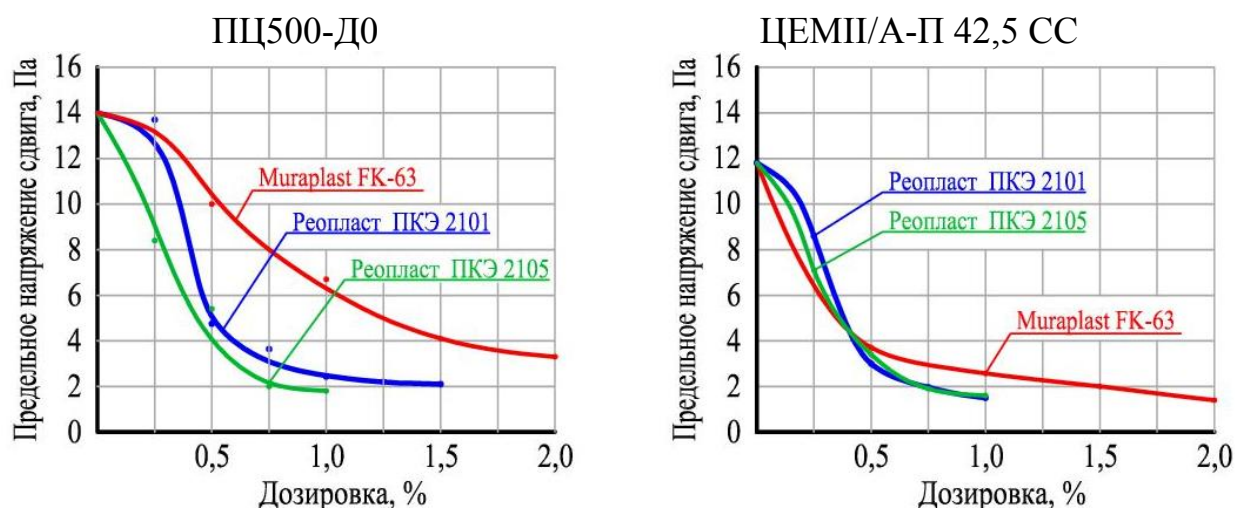


Рис. 1. – Влияние вида и дозировки суперпластификаторов на предельные напряжения сдвига цементных суспензий

Высокая растекаемость суспензий на цементе с минеральной кремнеземсодержащей добавкой обеспечивается при расходе суперпластификаторов в количестве 0,75 % массы цемента.

Для цемента марки ПЦ500-Д0 реологическая активность исследованных суперпластификаторов проявляется в меньшей степени.

На следующем этапе исследований установлено влияние суперпластификаторов на свойства бетонных смесей и бетонов. Основные характеристики смесей определены по методикам ГОСТ 10181, а растекаемость – по диаметру расплыва смеси по методике EN 12350.5-2000.

Для оценки влияния химических добавок на свойства бетонных смесей и физико-механические свойства бетонов были приготовлены смеси на цементе марки ПЦ500-Д0 (таблица 5) и цементе класса ЦЕМII/A-П 42,5 СС (таблица 6). Для сравнения результатов условиями сопоставимости приняты: номинальный расход цемента 450 кг/м³, доля песка в смеси заполнителей варьировалась от 0,38 до 0,41.

Таблица №5

Характеристики бетонных смесей на цементе марки ПЦ500-Д0

Состав	Расход материалов на 1 м ³ , кг							Осадка конуса, см	Диаметр расплыва, см	Средняя плотность смеси, кг/м ³	Признаки расслоения
	Ц	В	П	Щ	ПКЭ 2101	ПКЭ 2105	ФК 63				
1	429	248	669	1030	3,27	-	-	22,0	-	2380	Нет
2	434	244	676	1043	-	3,3	-	22,0	-	2400	Нет
3	380	222	660	1094	-	-	3,8	-	57,0	2360	Нет

В процессе проведения исследований установлено, что добавки марки Реопласт: ПКЭ 2101 и ПКЭ 2105 при дозировке 0,75 и 1,0 % массы цемента позволяют получить стабильные высокоподвижные смеси. Увеличение дозировки этих добавок до 1,5 % массы цемента приводит к расслоению смеси и не обеспечивает требуемой растекаемости для СУБ.

Таблица №6

Характеристики бетонных смесей на цементе класса ЦЕМII/A-П 42,5 СС

Состав	Расход материалов на 1 м ³ , кг							Осадка конуса, см	Диаметр расплыва, см	Средняя плотность смеси, кг/м ³	Признаки расслоения
	Ц	В	П	Щ	ПКЭ 2101	ПКЭ 2105	FK63				
4	418	206	680	1099	-	-	6,3	-	58,0	2410	Нет
5	444	249	691	987	4,4	-	-	22,0	-	2375	Нет
6	454	210	705	1008	6,8	-	-	21,0	-	2385	Есть
7	457	213	710	1015	-	4,6	-	21,0	-	2400	Нет
8	466	206	720	1028	-	7,0	-	22,0	-	2425	Есть

Добавка Muraplast FK-63, проявляя максимальную реологическую активность с исследованными цементами, позволяет получить высоко однородные самоуплотняющиеся смеси марки SF-1.

Показатели конструктивности и физико-механические характеристики бетонов представлены в таблице 7.

Таблица №7

Физико-механические характеристики бетонов

Состав	$\frac{П}{П+Щ}$	Ц/В	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут.		Удельный расход цемента K _ц
				1	28	
1	0,39	1,73	2335	10,1	37,1	11,5
2	0,39	1,78	2385	9,8	37,0	11,7
3	0,38	1,71	2350	10,2	31,6	12,0
4	0,38	2,03	2345	17,6	58,7	7,1
5	0,41	1,78	2365	12,8	45,6	9,7
6	0,41	2,16	2380	20,9	65,3	7,0
7	0,41	2,14	2390	17,1	57,0	8,0
8	0,41	2,26	2410	22,0	66,8	7,0

Примечание. Номера составов бетона соответствуют данным таблиц 5 и 6.

Об экономической эффективности состава бетона и возможности получения конкурентоспособной продукции можно судить по коэффициенту использования цемента в бетоне – удельному расходу вяжущего на единицу прочности бетона [13]:

$$K_{ц} = Ц/R_{28}, \quad (3)$$

где $Ц$ – расход цемента на 1 м³ бетона, кг; R_{28} – прочность бетона в проектном возрасте, МПа.

Анализ результатов исследований показывает, что высокая эффективность состава бетона (при обеспечении требуемых характеристик бетонной смеси) достигается при максимальном расходе используемых добавок – 1,5 % массы цемента: составы 4, 6 и 8 (таблица 7). При этом повышение прочности бетонов обеспечивается высоким водоредуцирующим эффектом суперпластификаторов на основе поликарбоксилатов.

Заключение. Выполненными исследованиями установлено, что водоудерживающая способность цемента в присутствии суперпластификатора отражает его реологическую активность и в производственных условиях является весьма важной характеристикой при выборе пары «цемент-суперпластификатор». Чем выше водоотделение цемента в присутствии суперпластификатора, тем выше его потенциальная активность, проявляющаяся высоким водоредуцирующим эффектом добавки. Бетоны с рационально подобранным зерновым составом и оптимальной дозировкой суперпластификатора на основе поликарбоксилатов могут достигать высокой прочности при минимальном удельном расходе цемента.

Литература

1. Tarakanov O., Belyakova E. The Influence of Plasticizers on the Composition of Cement Stone Hydration Products // Advances in Engineering Research, 2016, Vol. 93 pp. 186-191.

2. Дружинкин С.В., Немыкина Д.А., Краснова Е.А. Влияние суперпластифицирующих добавок на прочность бетона // Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2018/5006/.

3. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С., Та Ван Фан, Хомич Л.А., Блягоз А.М. О влиянии суперпластификаторов и минеральных добавок на пористость цементного камня // Новые технологии. 2012. №4. С. 122–125.

4. Тараканов О.В., Белякова Е.А. Влияние суперпластификаторов на пластичность цементных и минеральных паст // Технологии бетонов. 2013. №2. С. 18–20.

5. Касторных Л.И., Скиба В.П., Елсуфьев А.Е. Об эффективности использования модификатора вязкости в самоуплотняющихся бетонах // Инженерный вестник Дона, 2017, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4346.

6. Сивков С.П. Удельная поверхность цемента и их свойства // Сухие строительные смеси. 2011. №3. С. 39–41.

7. Шахова Л.Д., Котляров Р.А. Требования к нормальной густоте, водопотребности и водоотделению цементов для транспортного строительства // Строительные материалы. 2018. № 5. С. 57–60.

8. Касторных Л.И., Рауткин А.В., Раев А.С. Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов. Часть I. Реологические характеристики цементных композиций // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 34–38.

9. Касторных Л.И., Деточенко И.А., Аринина Е.С. Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов. Часть 2. Реологические характеристики бетонных смесей и прочность самоуплотняющихся бетонов // Строительные материалы. 2017. № 11. С. 22 – 27.

10. Wallevik O.H. Rheology – a scientific approach to develop Self compacting concrete. In: The 3rd Intern. Symp.on Self-compacting Concrete [Wallevik O.H., Nielsson I., ed.] // RILEM Publications S.A.R.L., Bagnaux, France. – 2003, pp. 23-31.

11. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Издательство АСВ. 2006. 368 с.

12. Несветаев Г.В. Технология самоуплотняющихся бетонов // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 24–28.

13. Несветаев Г.В., Лопатина Ю.Ю. Проектирование макроструктуры самоуплотняющейся бетонной смеси и её растворной составляющей // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015). URL: naukovedenie.ru/PDF/48TVN515.pdf.

References

1. Tarakanov O., Belyakova E. The Influence of Plasticizers on the Composition of Cement Stone Hydration Products Advances in Engineering Research, 2016, Vol. 93 pp. 186-191.

2. Druzhinkin S.V., Nemykina D.A., Krasnova E.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2018/5006/.

3. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S., Ta Van Fan, Homich L.A., Blyagoz A.M. Novye texnologii (Rus), 2012. №4. pp. 122–125.

4. Tarakanov O.V, Belyakova E.A. Technologii betonov (Rus), 2013. №2. pp. 18–20.

5. Kastornyh L.I., Skiba V.P., Elsufev A.E. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4346/.

6. Sivkov S.P. Suchie stroitelnye smesi (Rus), 2011, №3. pp. 39–41.

7. Shachova L.D., Kotlyarov R.A. Stroitel'nye Materialy. 2018. №5. pp. 57–60.

8. Kastornykh L.I., Rautkin A.V., Raev A.S. Stroitel'nye Materialy. 2017. №7. pp. 34–38.

9. Kastornykh L.I., Detochenko I.A., Arinina E.S. Stroitel'nye Materialy. 2017. № 11. pp. 22–27.



10. Wallevik O.H. Rheology – a scientific approach to develop Self compacting concrete. In: The 3rd Intern. Symp.on Self-compacting Concrete [Wallevik O.H., Nielsson I., ed.] RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, France. – 2003, pp. 23-31.

11. Bazhenov Y.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modificirovannye vysokokachestvennye betony [Modified high-quality concrete]. M.: Publishing house ASV. 2006. 368 p.

12. Nesvetaev G.V. Stroitel'nye Materialy. 2008. № 3. pp. 24–28.

13. Nesvetaev G.V., Lopatina Ju.Ju. Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 7, № 5 (2015). URL: naukovedenie.ru/PDF/48TVN515.pdf.