

doi: 10.5862/MCE.56.1

## Модификация литой бетонной смеси воздухововлекающей добавкой

*Д-р техн. наук, директор Инженерно-строительного института Н.И. Ватин;  
д-р техн. наук, профессор Ю.Г. Барабанщиков;  
канд. техн. наук, зам. заведующего кафедрой по учебной работе М.В. Комаринский;  
студент С.И. Смирнов,  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

**Аннотация.** Исследовалось совместное действие суперпластификатора на основе лигносульфоната нафталина (марки С-3) и воздухововлекающей поверхностно-активной добавки (марки ЛХД) на подвижность, связность и воздухововлечение бетонной смеси.

Воздухововлекающая поверхностно-активная добавка способствует воздухововлечению и снижению водо- и раствооотделения бетонной смеси. Установлено, что при введении такой добавки в бетонную смесь, содержащую суперпластификатор, подвижность бетонной смеси снижается, несмотря на то, что воздухововлекающая поверхностно-активная добавка сама по себе является пластификатором. Снижение подвижности от введения 0,1 % воздухововлекающей поверхностно-активной добавки составляет: по осадке конуса Абрамса – 5...6 %, по диаметру расплыва конуса – 18...22 %. В то же время эффект повышения связности бетонной смеси связан с воздухововлечением. Независимо от воздухововлекающей поверхностно-активной добавки суперпластификатор снижает водоотделение и не оказывает воздухововлекающего действия, а также практически не влияет на воздухововлечение, вызванное воздухововлекающей поверхностно-активной добавкой. С повышением содержания в бетонной смеси воздухововлекающей поверхностно-активной добавки независимо от дозировки суперпластификатора количество вовлеченного воздуха возрастает с 3 до 7 %, а водоотделение уменьшается почти до 0.

Таким образом, синергия (совместное действие) суперпластификатора и воздухововлекающей поверхностно-активной добавки, в частности из-за воздействия ее компонента в отношении пластификации бетонной смеси оказалась отрицательной, но положительный эффект этого компонента наблюдается в отношении связности бетонной смеси.

**Ключевые слова:** комплексная химическая добавка; бетонная смесь; суперпластификатор; воздухововлекающая добавка; удобоукладываемость; водоотделение; раствооотделение; воздухововлечение; добавки для бетона

### Введение

При применении комплексных химических добавок, включающих суперпластификатор, могут быть получены без увеличения расхода цемента нерасслаивающиеся литые бетонные смеси, приближающиеся по пластическим свойствам к самоуплотняющимся, но менее дорогие. Такие смеси (взамен стандартных виброуплотняемых малоподвижных смесей), укладываемые с применением средств бетононасосной технологии, в стесненных условиях, а также при бетонировании тонкостенных и густоармированных конструкций, в том числе с применением напорной технологии, позволяют значительно уменьшить затраты труда, повысить производительность и на этой основе получить экономический эффект при одновременном повышении качества строительства и улучшении условий труда [1].

Для регулирования свойств бетонной смеси и бетона наибольшее применение нашли химические добавки, как по отдельности, так и в различных сочетаниях, позволяющие получать высокоэффективные бетоны (high-performance concrete) [2] и достигать экономии средств [3]. Применение комплекса добавок позволяет регулировать сразу несколько параметров материала [4–5] либо подавлять побочные нежелательные эффекты, возникающие в некоторых случаях. Так, при использовании пластификаторов возможно повышенное воздухововлечение, что требует применения антивспенивателей [6–7]. Наоборот, при недостаточном содержании воздуха применяют воздухововлекающие добавки. Эти добавки повышают осадку конуса в результате снижения пластической вязкости, однако в ряде случаев наблюдается увеличение предела текучести [8–9]. Вовлечение воздуха в бетонную смесь приводит к некоторому снижению прочности. По данным работы [10] снижение прочности на сжатие происходит в среднем на 4 % на каждый 1 % содержания вовлеченного воздуха. В то же время из-за изменения характера

Ватин Н.И., Барабанщиков Ю.Г., Комаринский М.В., Смирнов С.И. Модификация литой бетонной смеси воздухововлекающей добавкой

пористости может возрасти морозостойкость бетона [11–12]. Воздухововлекающие добавки позволяют бороться с водоотделением в бетонной смеси, часто возникающим при ее разжижении суперпластификаторами [13–16].

Применение воздухововлекающих добавок совместно с суперпластификаторами является перспективным способом улучшения технологических свойств бетонной смеси, в частности ее удобоперекачиваемости бетононасосными установками, что особенно важно в случае бетонирования густоармированных и тонкостенных конструкций [17].

В исследованиях применялись следующие химические добавки.

Суперпластификатор на основе лигносульфоната нафталина (марки С-3) – смесь нейтрализованных едким натром полимерных соединений разной относительной молекулярной массы, получаемых при конденсации сульфокислот нафталина с формальдегидом и технических лигносульфонатов. Разработка российских специалистов. Является аналогом зарубежных суперпластификаторов типа «Майти 100» (Япония), сикамент, мельмент (Германия), не уступая им по качеству. Данная добавка в количестве 0,2...0,7 % от массы цемента позволяет получать литые самоуплотняющиеся, практически не требующие вибрации бетонные смеси, а при снижении расхода воды затворения – бетоны повышенной прочности при неизменной подвижности смеси. Можно использовать оба эти эффекта частично, т. е. получать смеси повышенной подвижности по сравнению с исходной и одновременно несколько увеличивать прочность бетона за счет снижения расхода воды.

Воздухововлекающая поверхностно-активная добавка (марки ЛХД) – нейтрализованная растворимая смола на основе побочного продукта лесохимической промышленности, разработанная в России [18–19]. Растворимую смолу, упаренную до плотности 1230...1270 кг/м<sup>3</sup>, нейтрализуют в реакторе 40 % водным раствором едкого натра до pH 10...12. В результате экзотермической реакции нейтрализации реакционная смесь разогревается. Ее температуру поддерживают в пределах 80...90 °С, изменяя скорость подачи щелочи. Затем добавляют свежеприготовленное известковое молоко (из расчета 2 % окиси кальция от смолы) и выдерживают горячую реакционную смесь при перемешивании в течение 1 ч. Готовый продукт содержит до 50 % воды.

Известны проблемы совместимости добавок с цементом и между собой при их комплексном использовании [20–22]. В работах [23–24] было показано, что добавка суперпластификатора марки С-3, в отличие от поликарбоксилатов, не обладает избирательным действием по отношению к различным цементам и обеспечивает стабильность характеристик бетонной смеси на цементе разных партий. Однако нельзя исключать отрицательное влияние на нее других добавок.

### *Цель работы*

Целью данной работы является исследование влияния воздухововлекающей поверхностно-активной добавки марки ЛХД на свойства литой бетонной смеси в присутствии суперпластификатора на основе лигносульфоната нафталина (марки С-3) (рис. 1).

### *Результаты испытаний*

Влияние воздухововлекающей поверхностно-активной добавки на характеристики бетонной смеси (подвижность, связность, воздухововлечение) исследовалось нами при трех расходах цемента ЦЕМ I 42,5Н производства ЗАО «Пикалевский цемент» (280, 340 и 400 кг/м<sup>3</sup>) и трех дозировках добавки суперпластификатора марки С-3: 0,4; 0,6 и 0,8 %. Добавки вводились в бетонную смесь совместно одновременно с водой затворения. Содержание добавок указано в процентах от массы цемента в расчете на сухое вещество добавки. Подвижность бетонной смеси характеризовалась осадкой нормального конуса и диаметром его расплыва. Водоотделение и раствооротделение определяли по стандартной методике [25], а воздухововлечение замерялось прибором С196 производства Matest и проверялось расчетным способом.

Результаты испытаний бетонной смеси представлены в таблице 1 и на рисунках 1–3.

а) С-3 = 0,4 %;  
OK = 20 см; D = 45 см



б) С-3 = 0,8%;  
OK = 24 см; D = 60 см



Рисунок 1. Влияние добавки суперпластификатора на основе лигносульфоната нафталина (марки С-3) на характер удобоукладываемости бетонной смеси с расходом цемента 400 кг/м<sup>3</sup>

Таблица 1. Свойства бетонных смесей, модифицированных комплексной добавкой марок С-3+ЛХД

N п/п	Марка и дозировка, %		Параметры смеси			Свойства смесей				
	С-3	ЛХД	Ц, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц	$r = \frac{\Pi}{\Pi + \Gamma}$	OK, см	D, см	Воздухововлечение, %	Водоотделение, л/м <sup>3</sup>	Растворотделение, %
1	0,4	-	400	0,47		20	45	2	5,8	-
2	0,4	0,05				19,5	41	4,2	-	-
3	0,4	0,1				19	35	6,5	-	-
4	0,6	-				22,5	56	2,3	4	5,8
5	0,6	0,05				-	-	-	2,4	2,8
6	0,6	0,1				-	-	-	0,6	1,2
7	0,8	-				24	60	2,6	3,5	-
8	0,8	0,05				23	57	4,2	2	2,8
9	0,8	0,1				22,5	50	6	0,2	1
10	0,4	-	340	0,56	0,4	18	39	2,4	-	-
11	0,4	0,05				18	35	-	-	-
12	0,4	0,1				17,5	32	6,5	-	-
13	0,8	-				22	53	3	-	-
14	0,8	0,05				21	47	-	-	-
15	0,8	0,1				20,5	42	7	-	-
16	0,4	-	280	0,68		16,5	35	2,6	7,6	-
17	0,4	0,05				16	29	-	-	-
18	0,4	0,1				15,5	26	6,7	-	-
19	0,6	-				18	40	2,9	7	-
20	0,6	0,05				-	-	-	4,5	-
21	0,6	0,1				-	-	7	2,4	-
22	0,8	-				19	44	3,2	6	-
23	0,8	0,05				18,5	39	5,4	4,2	-
24	0,8	0,1	18	37	7	2	-			

а) С-3 = 0,8 %, ЛХД = 0,05 %;  
ОК = 23 см; D = 57 см



б) С-3 = 0,8 %, ЛХД = 0,1 %;  
ОК = 18,5 см; D = 39 см



в) С-3 = 0,8 %, ЛХД = 0,05 %;  
ОК = 22,5 см; D = 50 см



г) С-3 = 0,8 %, ЛХД = 0,1 %;  
ОК = 18 см; D = 37 см

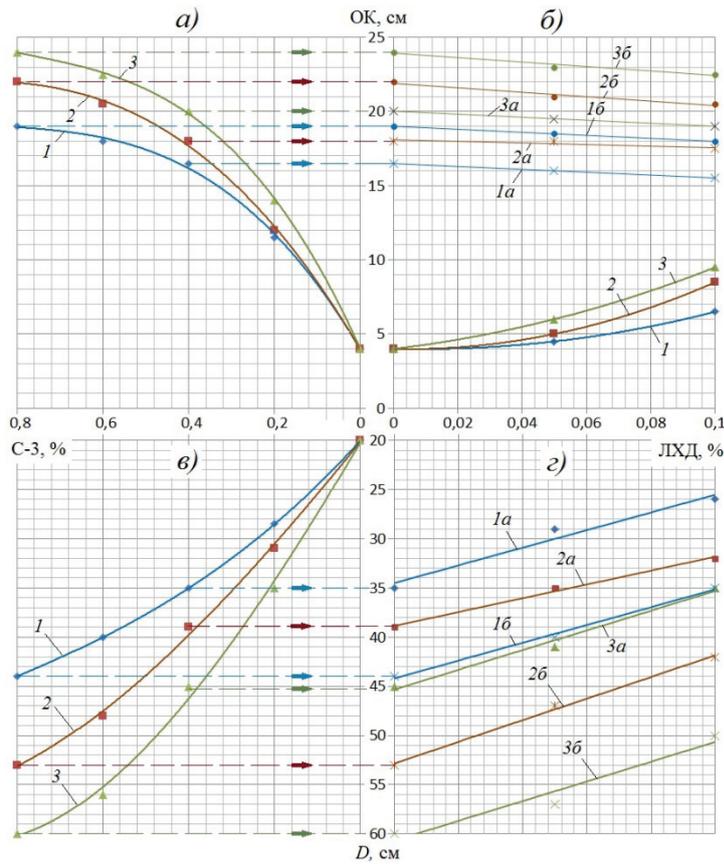


**Рисунок 2. Влияние воздухововлекающей поверхностно-активной добавки (марки ЛХД) в комплексе с суперпластификатором на основе лигносульфоната нафталина (марки С-3) 0,8 % на характер пластификации бетонной смеси с расходом цемента 400 (а и б) и 280 (в и г) кг/м<sup>3</sup>**

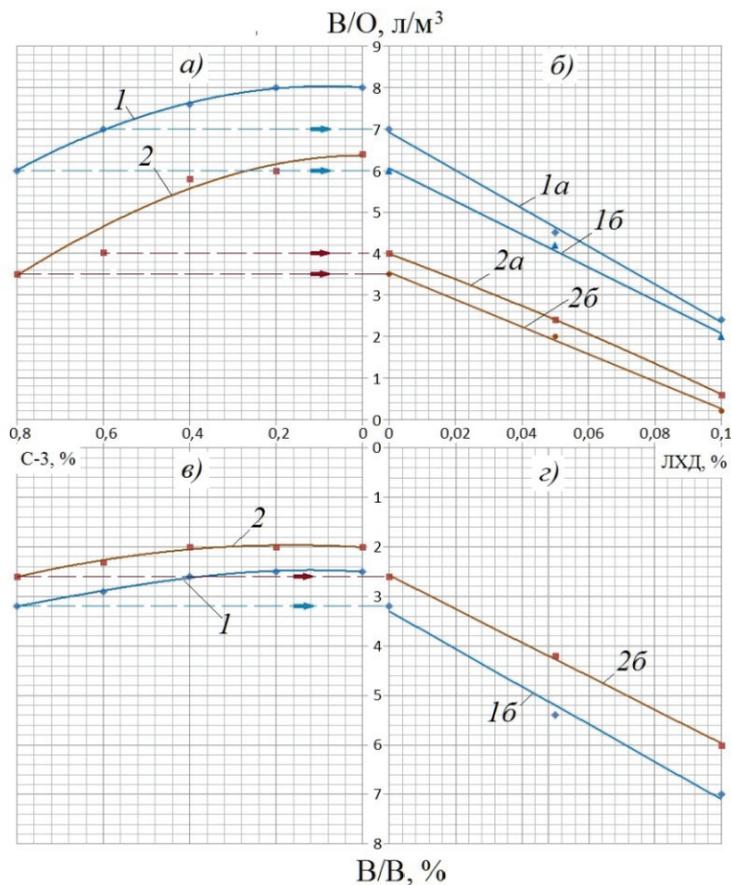
На номограмме (рис. 3) в левой верхней четверти «а» показано влияние добавки суперпластификатора на основе лигносульфоната нафталина (марки С-3) в различной дозировке от 0 до 0,8 % на осадку конуса, а в четверти «в» – на расплыв конуса. В верхней правой четверти «б» номограммы в нижней части приведены кривые (1, 2 и 3) изменения ОК под действием воздухововлекающей поверхностно-активной добавки (марки ЛХД). Наклонные линии в верхней части четверти «б» показывают, как изменяется ОК при добавлении добавки марки ЛХД к добавке марки С-3 при дозировке последней 0,4 (кривые 1а, 2а и 3а) и 0,8 % (кривые 1б, 2б и 3б). Аналогичные графики в четверти «г» относятся к расплыву конуса (D).

Из номограммы (рис. 3) видно, что при испытании добавок по отдельности обе они оказали пластифицирующее действие на бетонную смесь с ОК = 4 см, но в разной степени. При этом эффективность обеих добавок возрастала с увеличением расхода цемента.

При расходе цемента 340 кг/м<sup>3</sup> и содержании добавки марки С-3 0,8 % ОК увеличилась с 4 до 22 см. Добавка марки ЛХД, введенная к той же исходной смеси в количестве 0,1 %, повысила ОК до 8,5 см. При введении добавки марки ЛХД совместно с добавкой марки С-3 подвижность бетонной смеси снижается. При этом способ оценки подвижности по осадке конуса оказался менее чувствительным к влиянию добавки марки ЛХД: осадка конуса снизилась незначительно – на 0,5...1,5 см, что составляет 5...6 %. Более чувствительным способом является измерение расплыва конуса. При введении 0,1 % добавки марки ЛХД диаметр расплыва конуса уменьшается в среднем на 18...22 %. Независимо от содержания синергия добавок марок С-3 и ЛХД в отношении пластификации бетонной смеси оказалась отрицательной.



**Рисунок 3. Влияние содержания воздухововлекающей поверхностно-активной добавки (марки ЛХД) в комплексе с суперпластификатором на основе лигносульфоната нафталина (марки С-3) на изменение осадки конуса (ОК) и диаметра расплыва конуса (D): 1,2,3 – бетонная смесь с расходами цемента, соответственно, 280, 340 и 400 кг/м<sup>3</sup>; а – 0,4 % С-3+ЛХД; б – 0,8 % С-3+ЛХД**



**Рисунок 4. Влияние содержания воздухововлекающей поверхностно-активной добавки (марки ЛХД) в комплексе с суперпластификатором на основе лигносульфоната нафталина (марки С-3) на водоотделение и воздухововлечение в бетонных смесях: 1,2 – бетонная смесь с расходами цемента, соответственно, 280 и 400 кг/м<sup>3</sup>; а – 0,6 % С-3+ЛХД; б – 0,8 % С-3+ЛХД**

В то же время добавка марки ЛХД способствовала значительному воздухововлечению и снижению водоотделения и раствоороотделения бетонной смеси (рис. 4).

При раздельном использовании добавка суперпластификатора на основе лигносульфоната нафталина (марки С-3) заметно снижает водоотделение, но очень незначительно влияет на воздухововлечение. Эти эффекты заметно усиливаются при добавлении воздухововлекающей поверхностно-активной добавки (марки ЛХД). Как видно из рисунков 4 и 5, с повышением содержания в бетонной смеси добавки марки ЛХД независимо от дозировки добавки марки С-3 количество вовлеченного воздуха возрастает с 3 до 7 %, а водоотделение уменьшается почти до 0. Суперпластификатор на основе лигносульфоната нафталина (марки С-3) практически не влияет на воздухововлечение, вызванное воздухововлекающей поверхностно-активной добавки (марки ЛХД), но способствует снижению водоотделения. Таким образом, синергетический эффект наблюдается в отношении повышения связности бетонной смеси.

Результаты испытаний на раствоороотделение высокоподвижных бетонных смесей, склонных к расслоению, подтвердили положительное влияние воздухововлекающей поверхностно-активной добавки (марки ЛХД) на их связность. При введении в бетонную смесь, содержащую 0,6 % добавки марки С-3, добавки марки ЛХД в количестве 0,1 % раствоороотделение снизилось с 5,8 до 1,2 %. Эффект повышения связности бетонной смеси связан с воздухововлечением.

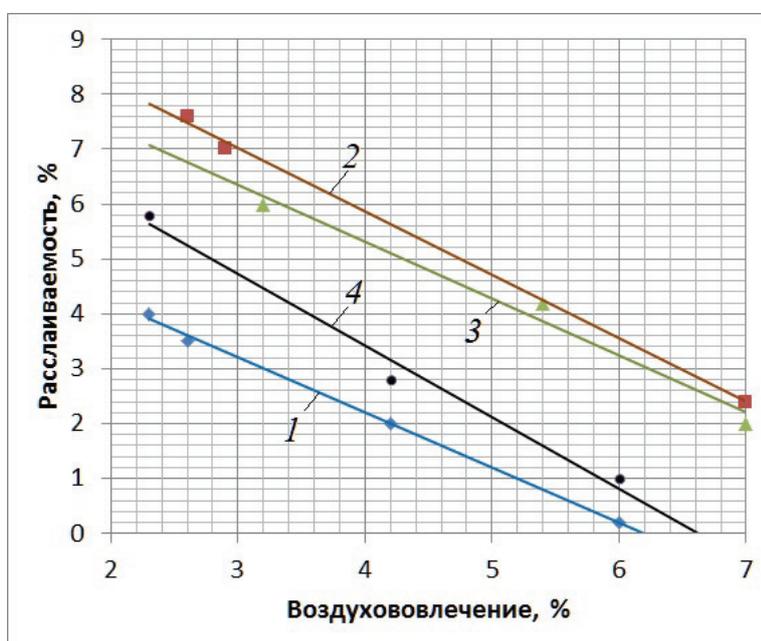


Рисунок 5. Зависимость водоотделения (1–3) и раствоороотделения (4) бетонной смеси (марка С-3 – 0,6...0,8 %; марка ЛХД – 0...0,1 %) от количества вовлеченного воздуха: 1 и 4 – Ц = 400; 2 и 3 – Ц = 280 кг/м<sup>3</sup>

### Заключение

Исследовано совместное действие пластифицирующих добавок – суперпластификатора на основе лигносульфоната нафталина (марки С-3) и воздухововлекающей поверхностно-активной добавки (марки ЛХД) – на подвижность, связность и воздухововлечение бетонной смеси. Установлено, что при введении добавки марки ЛХД совместно с супепластификатором марки С-3 подвижность бетонной смеси снижается, в то время как добавка марки ЛХД сама по себе является пластификатором. Снижение подвижности от введения 0,1 % добавки марки ЛХД составляет: по осадке конуса Абрамса – 5...6 %, по расплыву конуса – 18...22 %.

При этом добавка марки ЛХД способствовала значительному воздухововлечению и снижению водоотделения и растворотделения бетонной смеси. Эффект повышения связности бетонной смеси связан с воздухововлечением. При раздельном использовании добавка марки С-3 снижает водоотделение, но не оказывает воздухововлекающего действия. Она также практически не влияет на воздухововлечение, вызванное добавкой марки ЛХД, но способствует снижению водоотделения. С повышением содержания в бетонной смеси добавки марки ЛХД независимо от дозировки добавки марки С-3 количество вовлеченного воздуха возрастает с 3 до 7 %, а водоотделение уменьшается почти до 0. Таким образом, синергия добавок марок С-3 и ЛХД в отношении пластификации бетонной смеси оказалась отрицательной, но положительный эффект наблюдается в отношении связности бетонной смеси.

### Литература

1. Комаринский М.В. Производительность поршневого бетононасоса // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 6 (11). С. 43–49.
2. Meng F. Study on effects of admixture and shrinkage models on high-performance concrete // *Advanced Materials Research*. 2011. Vol. 168-170. Pp. 1073–1076.
3. Beresford D. Cost savings achieved using designer admixtures // *Concrete (London)*. 2011. No. 45(8). Pp. 33–34.
4. Wang X.-Y. Properties prediction of ultra high performance concrete using blended cement hydration model // *Construction and Building Materials*. 2014. No. 64. Pp. 1–10.
5. Łażniewska-Piekarczyk B., Szwabowski J. The influence of the type of anti-foaming admixture and superplasticizer on the properties of self-compacting mortar and concrete // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2012. Vol. 18, Issue 3. Pp. 408–415.
6. Golaszewski J., Szwabowski J., Soltysik P. Influence of air entraining agents on workability of fresh high performance concrete // *Proceedings of the International Conference on Admixtures - Enhancing Concrete Performance*. 2005. Pp. 171–182.
7. Chia K.-S., Zhang M.-H. Workability of air-entrained lightweight concrete from rheology perspective // *Magazine of Concrete Research*. 2007., No. 59(5). Pp. 367–375.
8. Struble L.J., Jiang Q. Effects of air entrainment on rheology // *ACI Materials Journal*. 2004. No. 101(6). Pp. 448–456.
9. Rajamane N.P., Annie Peter J., Neelamegam M., Dattatreya J.K., Gopalakrishnan S. Effect of air-entraining agent on cement composites containing mineral admixtures // *Indian Concrete Journal*. 2002. No. 76(9). Pp. 581–585.
10. Lomboy G., Wang K. Effects of strength, permeability, and air void parameters on freezing-thawing resistance of concrete with and without air entrainment // *ASTM Special Technical Publication*. 2010, 1511 STP. Pp. 135–154.
11. Zhang Y., Cai J.-D., Xu S.-L., Yue C.-X. Experimental investigation of effect of admixture on concrete strength and frost-resistance // *International Conference on Electric Technology and Civil Engineering, ICETCE 2011 – Proceedings*. 2011. Article 5774370. Pp. 2180–2183.
12. Hogberg E. Air entraining admixtures (Luftporbildande betongtillsatsmedel) // *Cem Betong*. 1971. 46(4). Pp. 485–497.
13. Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V. Effect of Air-Entraining Agent LHD on the Technological Properties of Concrete Mix Containing Superplasticizer S-3 // *Innovative Technologies in Development of Construction Industry*. 2015. Vols. 725-726. Pp. 419–424. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.725-726.419
14. Korsun V., Korsun A. The Influence of Precompression on Strength and Strain Properties of Concrete under the Effect of Elevated Temperatures // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 725–726. Pp. 469–474.
15. Korsun V., Vatin N., Korsun A., Nemova D. Heterogeneous shrinkage of high-strength concrete by the volume of large-size structural elements // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 723. Pp. 445–450.
16. Корсун В.И., Корсун А.В. Влияние масштабного фактора и повышенных температур на прочность и деформации высокопрочного модифицированного бетона // *Вестник МГСУ*. 2014. № 3. С. 179–188.

17. Комаринский М.В., Червова Н.А. Транспорт бетонной смеси при строительстве уникальных зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 1 (28). С. 6–31.
18. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов. Технические требования. М.: Изд-во стандартов, 2008. 34 с.
19. ТУ13-4000177-128. Поверхностно-активная добавка ЛХД, 1984.
20. Bahurudeen A., Marckson A.V., Kishore A., Santhanam M. Development of sugarcane bagasse ash based Portland pozzolana cement and evaluation of compatibility with superplasticizers // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 68. Pp. 465–475.
21. Sosa M.E., Villagrán-Zaccardi Y.A., Zega C.J., Peralta J.P. Fresh properties of mortar made with pozzolanic cement and water reducers // Materials Research Society Symposium Proceedings. 2012. 1488. Pp. 34–40.
22. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 4. С. 16–21.
23. Varabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V. Influence of superplasticizer S-3 on the technological properties of concrete mixtures // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 941–944. Pp. 780–785. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.780.
24. Барабанщиков Ю.Г., Комаринский М.В. Суперпластификатор С-3 и его влияние на технологические свойства бетонных смесей // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №6(21). С. 58–69.
25. ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2015. 40 с.

*Николай Иванович Ватин, Санкт-Петербург, Россия  
Тел. моб.: +7(921)9643762; эл. почта: vatin@mail.ru*

*Юрий Германович Барабанщиков, Санкт-Петербург, Россия  
Тел. раб.: +7(812)5341286; эл. почта: ugb@mail.ru*

*Михаил Викторович Комаринский, Санкт-Петербург, Россия  
Тел. раб.: +7(812)297-59-49; эл. почта: komarin@cef.spbstu.ru*

*Станислав Игоревич Смирнов, Санкт-Петербург, Россия  
Тел. моб.: +7(981)7317162; эл. почта: smirnovsta@mail.ru*

© Ватин Н.И., Барабанщиков Ю.Г., Комаринский М.В., Смирнов С.И., 2015

doi: 10.5862/MCE.56.1

## Modification of the cast concrete mixture by air-entraining agents

**N.I. Vatin,**

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*  
+7(921)9643762; e-mail: vatin@mail.ru

**Yu.G. Barabanshchikov,**

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*  
+7(812)5341286; e-mail: ugb@mail.ru

**M.V. Komarinskiy,**

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*  
+7(812)297-59-49; e-mail: komarin@cef.spbstu.ru

**S.I. Smirnov,**

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*  
+7(981)7317162; e-mail: smirnovsta@mail.ru

### Key words

complex chemical additive; concrete mix; superplasticizer; air-entraining agent; workability; water gain; mortar separation; air entrainment; concrete additives

### Abstract

The paper investigates the combined effect of superplasticizer based on the naphthalene lignosulfonate and the air-entraining surfactant agent on the fluidity, connectivity and air entrainment of concrete. The air-entraining surfactant agent contributes significantly into air entrainment and reduces the water gain and the mortar separation.

It was found that under the introduction of air-entraining surfactant agents in the concrete mixture which contains the superplasticizer, the concrete mobility decreases even though the air-entraining agent is a plasticizer itself. The introduction of 0.1 % air-entraining agent decreases mobility: slump Abrams – 5–6 %, slump flow – 18–22 %.

Besides, the effect of increasing the connectivity of the concrete mix is associated with the air entrainment. Regardless of the air-entraining surfactant agent, the superplasticizer reduces water separation, and does not have an air-entraining impact, and virtually has no effect on the air entrainment caused by the addition of the air-entraining agent. With the increasing quantity of the air-entraining surfactant agent in the concrete mix, regardless of the superplasticizer dosage, the amount of the entrained air increases from 3 to 7 %, and water separation is reduced to almost 0. Thus, the synergy of the superplasticizer and the air-entraining agent was negative, but it is possible to observe a positive effect in respect of the concrete mix connectivity.

### References

1. Komarinskiy M.V. Proizvoditelnost porshnevnogo betononasosa [A productivity of reciprocating concrete pump]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. No. 6 (11). Pp. 43–49. (rus)
2. Meng F. Study on effects of admixture and shrinkage models on high-performance concrete. *Advanced Materials Research*. 2011. Vol. 168-170. Pp. 1073–1076.
3. Beresford D. Cost savings achieved using designer admixtures. *Concrete* (London). 2011. No. 45(8). Pp. 33–34.
4. Wang X.-Y. Properties prediction of ultra high performance concrete using blended cement hydration model. *Construction and Building Materials*. 2014. No. 64. Pp. 1–10.
5. Łażniewska-Piekarczyk B., Szwabowski J. The influence of the type of anti-foaming admixture and superplasticizer on the properties of self-compacting mortar and concrete. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2012. Vol. 18, Issue 3. Pp. 408–415.
6. Golaszewski J., Szwabowski J., Soltysik P. Influence of air entraining agents on workability of fresh high performance concrete. *Proceedings of the International Conference on Admixtures - Enhancing Concrete Performance*. 2005. Pp. 171–182.
7. Chia K.-S., Zhang M.-H. Workability of air-entrained lightweight concrete from rheology perspective. *Magazine of Concrete Research*. 2007. No. 59(5). Pp. 367–375.

Vatin N.I., Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V., Smirnov S.I. Modification of the cast concrete mixture by air-entraining agents

8. Struble L.J., Jiang Q. Effects of air entrainment on rheology. *ACI Materials Journal*. 2004. No. 101(6). Pp. 448–456.
9. Rajamane N.P., Annie Peter J., Neelamegam M., Dattatreya J.K., Gopalakrishnan S. Effect of air-entraining agent on cement composites containing mineral admixtures. *Indian Concrete Journal*. 2002. No. 76(9). Pp. 581–585.
10. Lomboy G., Wang K. Effects of strength, permeability, and air void parameters on freezing-thawing resistance of concrete with and without air entrainment. *ASTM Special Technical Publication*. 2010, 1511 STP. Pp. 135–154.
11. Zhang Y., Cai J.-D., Xu S.-L., Yue C.-X. Experimental investigation of effect of admixture on concrete strength and frost-resistance. *International Conference on Electric Technology and Civil Engineering, ICETCE 2011 – Proceedings*. 2011. Article 5774370. Pp. 2180–2183.
12. Hogberg E. Air entraining admixtures (Luftporbildande betongtillsatsmedel). *Cem Betong*. 1971. 46(4). Pp. 485–497.
13. Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V. Effect of Air-Entraining Agent LHD on the Technological Properties of Concrete Mix Containing Superplasticizer S-3. *Innovative Technologies in Development of Construction Industry*. 2015. Vols. 725-726. Pp. 419–424. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.725-726.419
14. Korsun V., Korsun A. The Influence of Precompression on Strength and Strain Properties of Concrete under the Effect of Elevated Temperatures. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 725–726. Pp. 469–474.
15. Korsun V., Vatin N., Korsun A., Nemova D. Heterogeneous shrinkage of high-strength concrete by the volume of large-size structural elements. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 723. Pp. 445–450.
16. Korsun V.I., Korsun A.V. Vliyaniye masshtabnogo faktora i povyshennykh temperatur na prochnost i deformatsii vysokoprochnogo modifitsirovannogo betona [The influence of the scale effect and high temperatures on the strength and strains of high performance concrete]. *Vestnik MGSU*. 2014. No. 3. Pp. 179–188. (rus)
17. Komarinskiy M.V., Chervova N.A. Transport betonnoy smesi pri stroitelstve unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Concrete mixes transportation in construction of unique buildings and structures]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. No. 1 (28). Pp. 6–31. (rus)
18. GOST 24211-2008. *Dobavki dlya betonov. Tekhnicheskiye trebovaniya* [State standard specification. Concrete additives, Technical requirements]. Moscow: Izd-vo standartov, 2008. 34 p. (rus)
19. TU 13-4000177-128. *Poverkhnostno-aktivnaya dobavka LKhD* [Technical requirements. Surfactant agent LKhD]. 1984. (rus)
20. Bahurudeen A., Marckson A.V., Kishore A., Santhanam M. Development of sugarcane bagasse ash based Portland pozzolana cement and evaluation of compatibility with superplasticizers. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 68. Pp. 465–475.
21. Sosa M.E., Villagrán-Zaccardi Y.A., Zega C.J., Peralta J.P. Fresh properties of mortar made with pozzolanic cement and water reducers. *Materials Research Society Symposium Proceedings*. 2012.1488. Pp. 34–40.22.
22. Vatin N.I., Petrosov D.V., Kalachev A.I., Lahtinen P. Primeneniye zol i zoloshlakovykh otkhodov v stroitelstve [Use of ashes and ash-and-slad wastes in construction]. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 4. Pp. 16–21. (rus)
23. Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V. Influence of superplasticizer S-3 on the technological properties of concrete mixtures. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 941–944. Pp. 780–785. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.780.
24. Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V. Superplastifikator S-3 i yego vliyaniye na tekhnologicheskiye svoystva betonnykh smesey [Superplasticized technological properties of concrete mixtures]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No. 6 (21). Pp. 58–69. (rus)
25. GOST 10181-2014 *Smesi betonnyye. Metody ispytaniy* [State standard specification. Concrete mixes. Test methods]. Moscow: Izd-vo standartov, 2015. 40 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 3–10**