

## Влияние опоки и суперпластификатора на свойства цемента

*М.О. Коровкин, Н.А. Ерошкина*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза*

**Аннотация:** Исследовано влияние дозировки измельченной опоки Пензенского месторождения и поликарбоксилатного суперпластификатора на свойства растворной составляющей бетона, приготовленного на основе смешанных цементов, включающих портландцемент, золу-унос, доменный шлак, микрокремнезем. Получены уравнения зависимости водопотребности и расслоения растворной составляющей бетона, а также ее прочности в различные сроки от дозировки суперпластификатора и компонентов смешанного вяжущего. Негативное влияние опоки на прочность значительно снижается при уменьшении водоцементного отношения.

**Ключевые слова:** смешанный цемент, опока, доменный шлак, зола-унос, суперпластификатор, водопотребность, распыл конуса смеси, прочность.

Использование органоминеральных добавок позволило достичь значительного прогресса в технологии бетона. Эти модификаторы, состоящие из высокоактивных минеральных добавок (микрокремнезема, золы-уноса и др.) и суперпластификаторов (СП), обеспечивают существенное повышение технологических и эксплуатационных характеристик бетонов [1-6]. Для дальнейшего развития этого направления технологии бетонов необходима разработка добавок на основе дешевого, широко распространенного сырья, к числу которого относятся кремнистые горные породы осадочного происхождения – опока, диатомит, цеолиты [7-9].

Целью исследования являлось определение эффективности опоки Пензенского месторождения, измельченной до удельной поверхности  $2100 \text{ м}^2/\text{кг}$ , в качестве основы органоминеральной добавки. Было исследовано влияние степени замещения вяжущего опокой на консистенцию смесей и их прочность в различные сроки твердения.

Исследования проводились на растворной составляющей бетона при соотношении песка и цемента 1:1,33. Такое отношение является одним из условий получения самоуплотняющегося бетона [10]. В качестве заполнителя применялся кварцевый песок  $M_k = 2,1$ .

Для приготовления смесей использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5Н без добавки. Кроме того, на его основе готовились смешанные цементы с золой-уносом, доменным гранулированным шлаком, микрокремнеземом. Все перечисленные добавки, кроме микрокремнезема, измельчались до удельной поверхности 340-350 м<sup>2</sup>/кг.

Смеси готовились с добавкой СП Glenium SKY 591, которая вводилась в дозировках 1,5 и 4,5 % от массы вяжущего.

Для каждого состава находились экспериментальные зависимости диаметра расплыва конуса (ГОСТ 320.4-76) смеси (РК) и прочности в различные сроки от водоцементного отношения (В/Ц). По полученным зависимостям вычислялись В/Ц отношения для получения РК 150 и 300 мм, а затем рассчитывались прочности составов с равной консистенцией.

Результаты определения влияния водоцементного отношения на расплавы конуса смеси через 15 минут после затворения для составов, приготовленных на портландцементе и цементе с 10 % шлака, приведены на рис. 1 и 2. На графиках нанесены экспериментальные значения и аппроксимирующие их линейные зависимости.

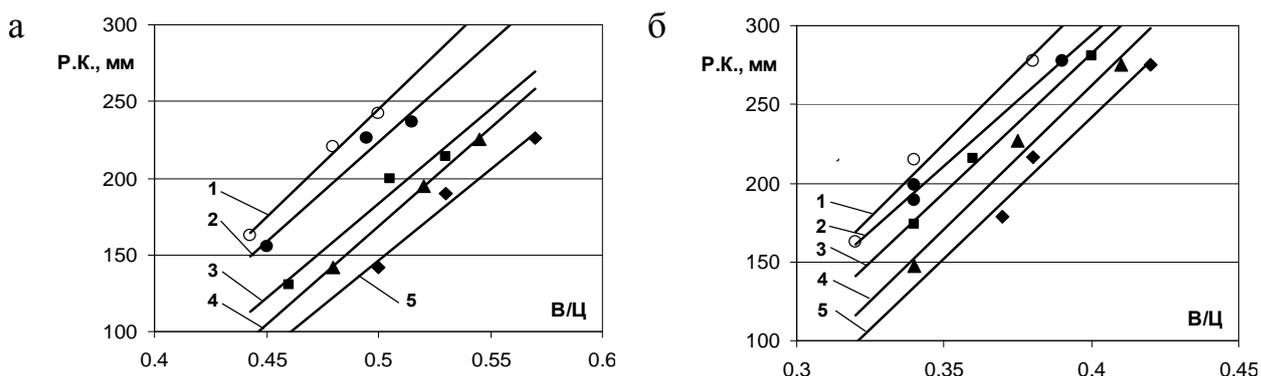


Рис. 1. – Влияние водоцементного отношения на расплыв конуса смеси, приготовленной на портландцементе с различным количеством добавки опоки при дозировке СП 1,5 % (а) и 4,5 % (б). Обозначения доли замещения цемента опокой: 1 – контрольный состав; 2 – 5%; 3 – 10%; 4 – 15%; 5 – 20%

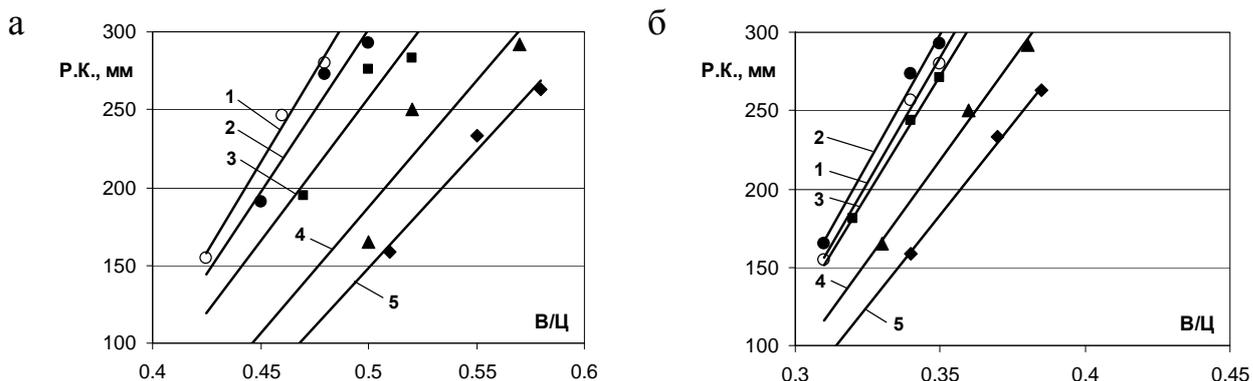


Рис. 2. – Влияние водоцементного отношения на расплыв конуса смеси, приготовленной на цементе, содержащем 10 % шлака с различным количеством добавки опоки при дозировке СП 1,5 % (а) и 4,5 % (б).

Обозначения доли замещения цемента опокой по рис. 1

С использованием полученных линейных зависимостей, аппроксимирующих экспериментальные данные, были рассчитаны водоцементные отношения (В/Ц), обеспечивающие получение расплывов смеси 150 и 300 мм. Результаты расчета приведены в табл. 1. В связи с тем, что введение микрокремнезема в смесь приводило к значительному загущению смеси даже при дозировке 5 %, исследования влияния опоки на свойства цемента с этой добавкой были прекращены на начальном этапе.

Таблица 1

Расчетные значения В/Ц для получения заданных расплывов смеси

Вид смешанного вяжущего	СП, %	Расплыв смеси, мм	В/Ц смесей с различной долей (%) замещения цемента опокой				
			0	5	10	15	20
Бездобавочный портландцемент	1,5	150	0,433	0,444	0,473	0,486	0,503
		300	0,539	0,559	0,595	0,603	0,629
	4,5	150	0,310	0,313	0,325	0,338	0,349
		300	0,390	0,403	0,410	0,421	0,433
Портландцемент с 10 % шлака	1,5	150	0,422	0,428	0,442	0,477	0,501
		300	0,487	0,499	0,523	0,570	0,601
	4,5	150	0,308	0,305	0,310	0,323	0,336
		300	0,355	0,350	0,359	0,382	0,400

При увеличении доли замещения цемента опокой водопотребность смесей возрастает (см. табл. 1), что связано с высокой удельной поверхностью добавки и снижением плотности смеси. Кроме того, в смешанных цементах негативное действие опоки на водопотребность ниже, чем в портландцементе.

Для анализа влияния опоки на прочность цемента были найдены корреляционные зависимости между В/Ц и значениями прочностей в различные сроки. Полученные зависимости позволили рассчитать прочность составов с равной консистенцией, что более корректно при оценке влияния на свойства цемента минеральной добавки, чем сравнение составов с равными водоцементными отношениями. Результаты расчета прочности равноподвижных составов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные значения прочности в различные сроки равноподвижных составов с минеральными добавками

Вид смешанного вяжущего	СП, %	Расп- лыв смеси, мм	Продолжи- тельность твердения, сут	Прочность смесей с различной долей замещения (%) цемента опокой, МПа					
				0	5	10	15	20	
Бездобавочный портланд- цемент	1,5	150	3	28,5	28,4	23,4	23,0	18,3	
			28	57,6	51,4	48,3	45,4	41,4	
		300	3	22,0	21,4	17,3	17,3	14,5	
			28	47,7	42,5	36,3	36,4	26,5	
	4,5	150	3	49,8	56,3	44,2	39,2	36,2	
			28	82,7	83,9	78,7	75,4	70,0	
		300	3	39,3	40,3	33,9	31,1	27,2	
			28	63,3	62,0	62,6	59,8	50,7	
	Портланд- цемент с 10 % шлака	1,5	150	3	37,0	35,9	35,6	31,4	22,2
				28	63,1	59,2	56,5	50,2	44,7
			300	3	21,6	23,5	19,5	14,9	5,7
				28	39,7	43,7	35,2	29,6	24,2
4,5		150	3	64,7	71,1	65,5	60,3	43,9	
			28	90,6	96,6	98,2	83,3	75,6	
		300	3	38,5	44,2	37,1	26,8	10,6	
			28	52,7	63,7	58,2	48,7	46,3	

Данные в табл. 2 показывают, что при введении опоки в смесь с низким содержанием СП (1,5 %) происходит снижение прочности во все сроки твердения. При повышении дозировки СП до 4,5 % отмечается некоторое увеличение прочностных показателей при замещении 5-10 % цемента опокой. Повышение прочности в большей степени проявляется в составах с добавкой шлака, что свидетельствует о небольшом синергетическом эффекте совместного использования этих добавок с опокой.

Проведенные исследования показали, что при введении опоки в бездобавочный портландцемент и смешанные цементы на его основе в большинстве случаев происходит повышение водопотребности растворной смеси с добавкой СП. Однако при увеличении дозировки СП негативное воздействие опоки на подвижность смеси снижается.

Увеличение доли замещения цемента опокой до 5-10 % приводит к повышению прочности растворной составляющей бетона, приготовленного с использованием смешанного цемента, содержащего 10 % доменного гранулированного шлака или золы-уноса. При увеличении дозировки суперпластификатора эффективность опоки в качестве минеральной добавки повышается.

### Литература

1. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И. [и др.]. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 9-13.
2. Курочка П.Н., Гаврилов А.В. Бетоны на комплексном вяжущем и мелком песке // Инженерный вестник Дона, 2013, №1 URL:ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562.
3. Sobolev K. Sustainable Development of the Cement Industry and Blended Cements to Meet Ecological Challenges // The Scientific World Journal. 2003. No.3. pp. 308-318.

4. Иващенко Ю.Г., Козлов Н.А., Тимохин Д.К. Оценка влияния минеральных добавок природного и техногенного происхождения на кинетику формирования прочности мелкозернистого бетона // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. Вып. № 3, Том 4. С.25-29.

5. Wang C., Yang C. H., Wan C. J., Tian Y.F. Comparison of Fluidity between Metakaolin and Silica Fume Concretes // Key Engineering Materials. 2011. Vol. 477. pp. 95-101.

6. Морозова Н.Н., Кайс Х.А. Получение высокопрочного мелкозернистого бетона с использованием природного цеолита // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 2 (36). С. 185-193.

7. Шляхова Е.А., Шляхов М.А. Влияние вида минеральной добавки микронаполнителя на свойства мелкозернистого бетона // Инженерный вестник Дона, 2015, № 4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3394](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3394).

8. Саидов Д.Х., Умаров У.Х. Влияние минерально-химических добавок на коррозионностойкость цементных бетонов с применением промышленных отходов // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 (25) URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634).

9. Морозова Н.Н., Кайс Х.А. О роли природного цеолита на прочность мелкозернистого бетона // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19, № 10. С. 64-68.

10. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete // Journal of Advanced Concrete Technology. 2003. V.1, №1. pp. 5-15.

### References

1. Kaprielov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I. [i dr.]. Stroitel'nye materialy. 2008. № 3. pp. 9-13.



2. Kurochka P.N., Gavrilov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №1 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562).
3. Sobolev K. The Scientific World Journal. 2003. No.3. pp. 308-318.
4. Ivashchenko Yu.G., Kozlov N.A., Timokhin D.K. Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. Vyp. № 3, Tom 4. pp. 25-29.
5. Wang C., Yang C. H., Wan C. J., Tian Y.F. Key Engineering Materials. 2011. Vol. 477. pp. 95-101.
6. Morozova N.N., Kays Kh. A. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2016. № 2 (36). pp. 185-193.
7. Shlyakhova E.A., Shlyakhov M.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, № 4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3394](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3394).
8. Saidov D.Kh., Umarov U.Kh. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2 (25) URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634).
9. Morozova N.N., Kays Kh.A. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T. 19, № 10. pp. 64-68.
10. Okamura H., Ouchi M. Journal of Advanced Concrete Technjlogy. 2003. V. 1, №1. pp. 5-15.