



## Высокопрочные бетоны с высоким содержанием золы Канско-Ачинского бурогоугольного бассейна

*М.О. Коровкин, А.В. Петухов*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза*

**Аннотация:** Исследованы прочностные свойства высокопрочного бетона на основе измельченной до удельной поверхности  $600 \text{ м}^2/\text{кг}$  смеси высококальциевой золы и цемента в присутствии суперпластификатора. Установлено, что на начальных этапах твердения вяжущего его прочность в большей степени зависит от дозировки золы и в меньшей степени – от водовяжущего отношения. Через 28 суток твердения прочность бетона, напротив, больше зависит от водовяжущего отношения, а не от содержания золы в цементно-зольном вяжущем. Сделан вывод о том, что минералы золы уноса оказывают влияние на прочность цементно-зольного вяжущего в более поздние сроки, а на начальных этапах его твердение обеспечивается за счет гидратации цементного клинкера. Установлено, что в высокопрочных бетонах не происходит сбросов прочности в поздние сроки при использовании тонкоизмельченной золы, содержащей значительное количество свободного СаО.

**Ключевые слова:** высокопрочный бетон, зола уноса, свободный СаО, цементно-зольное вяжущее, прочность, сбросы прочности.

Разработка бетонов, в которых природное сырье заменяется промышленными отходами, относится к числу наиболее актуальных направлений развития технологии бетона. Одной из наиболее перспективных тенденций этого развития является использование золы уноса для получения смешанных вяжущих на основе портландцемента. Эта работа в нашей стране была начата еще в 30-е годы прошлого столетия и была направлена в основном на снижение дефицита цемента в эпоху бурного развития промышленного и жилищного строительства [1-2]. В зарубежных странах технологии применения золы в бетонах также активно развивались [3-4]. В тех случаях, когда химико-минералогический состав золы не позволяет ее использовать в качестве компонента вяжущего она может быть эффективно использована для укрепления грунтов и других целей [5, 6].

Действующими в России стандартами не рекомендуется использовать золы с высоким содержанием свободного оксида кальция для производства бетона. Это связано с тем, что замедленное гашение пережженной извести

---



может быть причиной снижения прочности бетона, как на этапе твердения, так и на стадии его эксплуатации. В тоже время расширение извести при ее медленном гашении по данным [7] может быть использовано для получения безусадочных строительных растворов. Однако для бетонов с повышенной прочностью, для которых характерна низкая вязкость разрушения, эти процессы могут привести к образованию трещин и сбросам прочности. Авторы работ [9, 10] считают, что тонкое измельчение золы совместно с цементом и суперпластификатором позволяет преодолеть эту проблему.

Целью работы является исследование влияния дозировки золы-уноса Красноярской ТЭЦ-1 в цементно-зольном вяжущем (ЦЗВ) и других факторов на прочность бетона. Исследованная зола получается при сжигании бурого угля Канско-Ачинского угольного бассейна. Химический состав золы представлен следующими оксидами (%):  $\text{SiO}_2$  – 53,6;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 7,0;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 6,3;  $\text{TiO}_2$  – 0,4;  $\text{CaO}$  – 22,5;  $\text{MgO}$  – 4,9;  $\text{SO}_3$  – 0,8;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,3;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,3. В золе содержится 6,0 % химически несвязанного  $\text{CaO}$ . Потери при прокаливании золы составляли 1,7 %.

На основе этой золы и портландцемента ПЦ 500 Д0 ООО «Красноярский цемент» готовилось цементно-зольное вяжущее (ЦЗВ) с различными долями замещения цемента золой. Зола, цемент и суперпластификатор Фортрайс-Стронг в количестве 2 % от массы вяжущего совместно измельчались в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 590-600  $\text{m}^2/\text{kg}$ .

С применением полученного вяжущего готовились высокоподвижные бетонные смеси. Для приготовления бетона использовался высокопрочный щебень с максимальной крупностью 10 мм и фракционированный песок Березовского карьероуправления (Красноярский край). Составы бетонных смесей, их подвижность, водовяжущие отношения (В/В) и прочность бетона в различные сроки твердения в воздушно-влажных условиях приведены в таблице.

---



№ состава	Доля золы в цементно-зольном вяжущем, %	Состав бетона, кг/м <sup>3</sup>				В/В	О.К., см	Предел прочности при сжатии, МПа		
		ЦЗВ	Щ	П	В			1 сут	28 сут	180 сут
1	80	467	888	915	170	0,364	20,7	12,2	57,6	78,4
2	70	473	882	912	180	0,381	20,1	17,4	58,0	72,4
3	70	471	878	908	186	0,395	22,9	23,4	47,6	63,4
4	60	596	920	849	210	0,352	21,8	34,8	69,6	93,0
5	60	559	862	795	175	0,313	9,2	43,8	92,8	114,7
6	50	581	897	828	182	0,313	22,8	47,4	94,0	110,9
7	50	559	863	796	175	0,313	20,9	44,8	98,0	113,5
8	50	571	881	813	179	0,313	21,3	45,6	94,4	107,6

Корреляционный анализ зависимости прочностных характеристик исследованных составов от доли золы в вяжущем и В/В отношения показал, что на начальном этапе твердения прочность зависит в большей степени от содержания золы в вяжущем и в меньшей степени – от В/В отношения. Коэффициенты корреляции для этих зависимостей составили 0,92 и 0,77, соответственно. Через 28 суток твердения прочность, напротив, больше зависит от В/В отношения, а не от содержания золы в ЦЗВ, что наглядно показывают графики на рис. 1 и 2. Коэффициент корреляции для указанных зависимостей составляет 0,97 и 0,78, соответственно. При повышении сроков твердения эти значения коэффициентов корреляции почти не изменяются.

Установленный характер зависимостей свидетельствует о том, что минералы золы уноса оказывают влияние на прочность ЦЗВ в более поздние сроки, а на начальных этапах твердение вяжущего обеспечивается за счет гидратации цементного клинкера. С учетом высокой прочности бетона при

повышенной дозировке золы в ЦЗВ можно сделать вывод о том, что зола играет не только роль пуццолановой добавки, а проявляет вяжущие свойства в смеси с цементом.

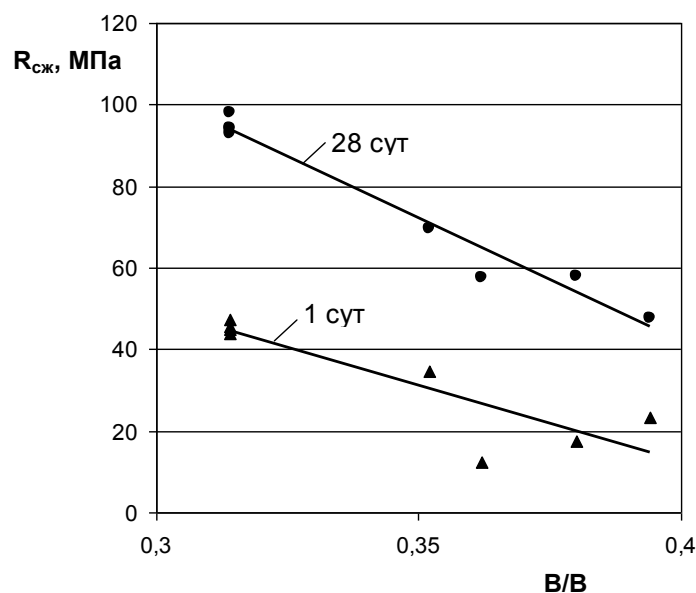


Рис. 1. Влияние водовяжущего отношения на прочность бетона в различные сроки

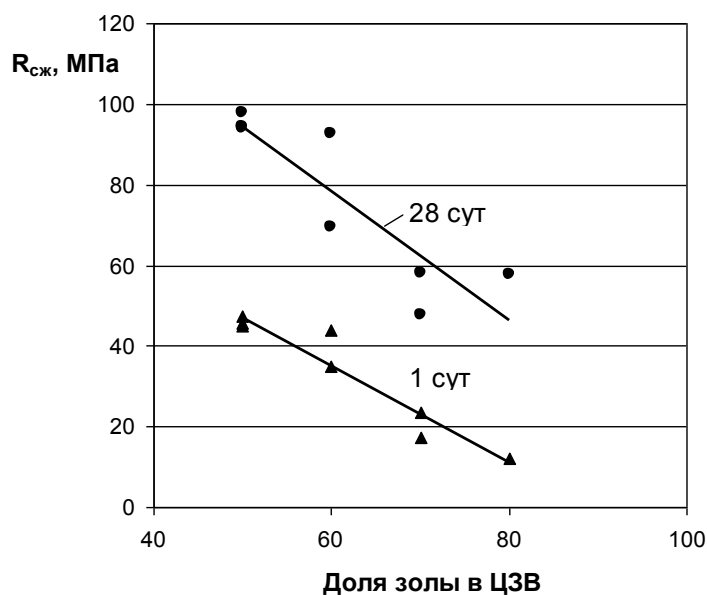


Рис. 2. Влияние дозировки золы на прочность бетона в различные сроки

Важным аспектом применения золы в качестве компонента вяжущего для получения высокопрочного бетона являются возможные сбросы



прочности в результате увеличения объема продуктов взаимодействия воды с пережженными оксидами кальция и магния. Определение прочности бетонов с ЦЗВ в возрасте 180 суток показало, что эти явления не приводят к снижению прочности исследованных бетонов. С учетом того, что состав золы и ее свойства непостоянны [10], необходимо проведение исследований различных партий золы Канско-Ачинских углей.

Совместное измельчение золы, цемента и суперпластификатора до удельной поверхности  $600 \text{ м}^2/\text{кг}$  позволяет получить вяжущее для приготовления высокопрочных бетонов с высокой подвижностью бетонной смеси.

### Литература

1. Волженский А.В., Иванов И.А., Виноградов Б.Н. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат, 1984. 255 с.
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](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562).
3. Alaka H.A., Oyedele L.O. High volume fly ash concrete: The practical impact of using superabundant dose of high range water reducer // Journal of Building Engineering. 2016. Vol. 8. pp. 81-90.
4. Shaikh F.U.A., Supit S.W.M. Compressive strength and durability properties of high volume fly ash (HVFA) concretes containing ultrafine fly ash (UFFA) // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 82. pp. 192-205.
5. Васильева Е.В. Технология работ при досыпке грунтовых водоподпорных сооружений // Инженерный вестник Дона, 2013, № 4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1955](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1955).



6. Путилин Е.И., Цветков В.С. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС. М.: Союздорнии, 2003. 60 с.

7. Овчаренко Г.И., Хижинкова Е.Ю., Музалевская Н.В., Балабаева Т.С. Безусадочные цементно-золевые композиции // Известия вузов. Строительство. 2010. № 9. С. 20-25.

8. Калашников В.И., Тараканов О.В., Белякова Е.А., Мороз М.Н. Новые направления использования зол ТЭС в порошково-активированных бетонах нового поколения // Региональная архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 22-27.

9. Калашников В.И., Белякова Е.А., Тараканов О.В., Москвин Р.Н. Высокоэкономичный композиционный цемент с использованием золы-уноса // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 1. С. 24-29.

10. Хижинкова Е.Ю., Музалевская Н.В., Овчинников С.П. и др. Влияние высококальциевой золы ТЭС на свойства высокоподвижных бетонных смесей // Ползуновский вестник. 2014. № 1. С. 214-219.

### References

1. Volzhenskiy A.V., Ivanov I.A., Vinogradov B.N. *Primenenie zol i toplivnykh shlakov v proizvodstve stroitel'nykh materialov* [Application of ashes and fuel slags in the production of construction materials]. М.: Stroyizdat, 1984. 255 p.

2. Kurochka P.N., Gavrilov A.V. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2013, №1 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562).

3. Alaka H.A., Oyedele L.O. *Journal of Building Engineering*. 2016. Vol. 8. pp. 81-90.

4. Shaikh F.U.A., Supit S.W.M. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 82. pp. 192-205.



5. Vasilyeva E.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1955](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1955).

6. Putilin E.I., Tsvetkov V.S. Obzornaya informatsiya otechestvennogo i zarubezhnogo opyta primeneniya otkhodov ot szhiganiya tverdogo topliva na TES [Overview of domestic and foreign experience in the use of wastes from the burning of solid fuel at TPPs]. M.: Soyuzdornii, 2003. 60 p.

7. Ovcharenko G.I., Khizhinkova E.Yu., Muzalevskaya N.V., Balabaeva T.S. News of higher educational institutions. Construction. 2010. № 9. pp. 20-25.

8. Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V., Belyakova E.A., Moroz M.N. Regional architecture and engineering. 2013. № 3. pp. 22-27.

9. Kalashnikov V.I., Belyakova E.A., Tarakanov O.V., Moskvina R.N. Regional architecture and engineering. 2014. № 1. pp. 24-29.

10. Khizhinkova E.Yu., Muzalevskaya N.V., Ovchinnikov S.P. i dr. Polzunovskiy vestnik. 2014. № 1. pp. 214-219.