

**ВЛИЯНИЕ МОЛОТОГО ГИДРАТИРОВАННОГО ЦЕМЕНТА И  
МЕХАНОАКТИВАЦИИ ВЯЖУЩЕГО НА ИЗМЕНЕНИЕ  
ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА**

**Дорофеев В.С., д.т.н., профессор, Барабаш И.В., д.т.н., профессор,  
Быстревский К.С.**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

Прогресс в области строительства способствовал появлению высокопрочных безвибрационных бетонов. Отличительной особенностью их является высокая подвижность на начальной стадии твердения, достигаемая путем использования суперпластификатора Супер-ПК [1,2]. Такие бетонные смеси под действием собственной массы полностью заполняют пространство опалубки, в том числе и между арматурными стержнями.

Самоуплотняющийся бетон (SCC – Self – Compacting Concrete, СУБ) впервые появился в Японии в 1988 году в целях сокращения высококвалифицированной рабочей силы, требующейся при укладке бетона и возможности бетонирования конструкций сложной конфигурации [3,4]. Отличительная особенность самоуплотняющихся бетонов состоит в том, что для выполнения условий самоуплотнения состав СУБ должен быть существенно усложнен введением специальных минеральных и химических добавок (с размером дисперсных частиц  $<0,125$  мм – молотый цементный камень, микрокремнезем, зола-унос). Интересно, что для самоуплотняющихся бетонов требования к прочности не всегда являются первостепенными (т.к. обеспечивается высокая водоредуцирующая способность за счет поликарбоксилатных и других суперпластификаторов снижающими В/Ц до 0,5), при этом приоритетными становятся показатели диаметра и времени расплыва смеси под собственной массой, вытеснения воздуха и сегрегации. Характерно, что пылевидная часть состава СУБ должна быть в пределах не менее 35% объема смеси, для повышения ее вязкости и стабилизации зерен крупного заполнителя. Анализ литературных источников [1-4] показал, что рецептура самоуплотняющейся бетонной смеси весьма существенно отличается от состава обычной бетонной смеси. Принципиальным отличием в составах СУБ и обычных бетонов является подход к соотношению и гранулометрии заполнителей – расход щебня не превышает

расход песка, гранулометрия, по возможности, приближается к идеальной кривой за счет обогащения нескольких фракций, смесь заполнителей проектируется исходя из наибольшей плотности. К крупному заполнителю СУБ предъявляются такие же требования, как и для обычного бетона, с одним дополнением, что максимальный размер крупного заполнителя должен быть менее  $d_{\max} < 20\text{мм}$ . Высокое содержание щебня необходимо для повышения модуля упругости и прочности бетона. Подбор оптимального зернового состава заполнителя имеет целью, обеспечить достижение заданных свойств бетонной смеси и затвердевшего бетона при возможно наименьшем содержании цемента и воды. По мнению исследователей [9,10,11] при проектировании составов СУБ возможно использовать смесь песков, позволяющая оптимизировать кривую гранулометрического состава.

Использование поликарбонатов позволяет получать самоуплотняющиеся бетоны с прочностью при сжатии от 40 до 100 МПа. Наряду с обеспечением высокой марочной прочности не менее важным является повышение ранней прочности бетона. Повышение прочности бетона в раннем возрасте позволяет ускорить темпы возведения бетонных и железобетонных конструкций, повысить оборачиваемость опалубки.

Известно использование в качестве ускорителя твердения цементного камня и бетона на его основе молотого гидратированного цементного камня (МГЦ) [7,8]. Ускорение структурообразования цементного камня и бетона на его основе достигается также всевозможными видами активации [5,6].

Представлял интерес выяснить совместное влияние молотого гидратированного цементного камня и механоактивации как на кинетику набора прочности самоуплотняющегося бетона так и на прочность его в марочном возрасте.

В исследованиях в качестве вяжущего использовался портландцемент М 500 Каменец-Подольского цементного завода. Эксперимент проводился по 12-ти точечному 2-х факторному Д-оптимальному плану. В качестве независимых рецептурных факторов принимались:

- содержание молотого гидратированного цементного камня в портландцементе ( $X_1 = 3 \pm 2\%$ );
- расход вяжущего ( $450 \pm 100 \text{ кг/м}^3$ ).

Пластификация бетонной смеси осуществлялась за счет введение в ее состав вместе с водой затворения суперпластификатора Супер-ПК. Содержание пластификатора принималось равным 1% от массы вяжущего. В качестве заполнителей использовался кварцевый песок с  $M_{кр} = 2,2$  и гранитный щебень фракции 5...10 мм и 10...20мм.

Бетонные смеси готовились как по отдельной (с предварительной активацией вяжущего), так и по традиционной технологии. Особенность приготовления бетонной смеси по отдельной технологии заключается в том, что предварительно активированная суспензия вяжущего совмещалась в последствии с кварцевым песком и гранитным щебнем в обычном бетоносмесителе.

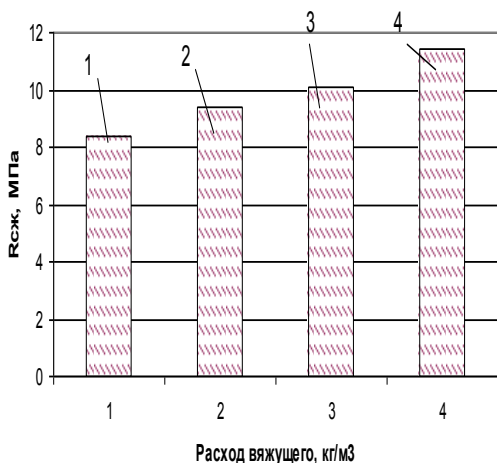
Активация суспензии происходила в специально созданном смесителе-активаторе в течении 90 сек при скорости вращения рабочего ротора смесителя 2800 об/мин.

Для контроля готовились бетонные смеси аналогичного состава, перемешивание компонентов которых производилось в обычном бетоносмесителе. Растекаемость бетонных смесей определялась при помощи конуса Абрамса и составляла для каждой строчки плана 70 см.

Прочность бетона при сжатии определялась путем испытания образцов-кубов с ребром 10 см. Бетонная смесь вибрации не подвергалась. Твердение образцов происходило в камере нормального твердения при температуре 18-20°C и относительной влажности воздуха не менее 95%. Прочность бетона при сжатии определялась в возрасте 2, 7, 14 и 28 суток.

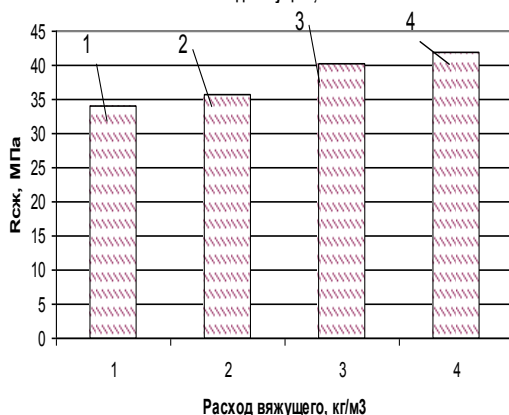
Математическая обработка результатов экспериментов позволила получить ряд полиномиальных моделей, описывающих совместное влияние исследуемых факторов на  $R_{сж}$  бетона. Анализ математических моделей позволяет сделать вывод о том, что каждый из перечисленных независимых факторов ( $X_1, X_2$ ) оказывает существенное влияние на прочность бетона как на механоактивированном вяжущем так и на прочность бетона, вяжущее которого механоактивации не подвергалось (контроль). Подтверждением этому служат графические зависимости, приведенные на рис.1. Введение в портландцемент 5% молотого гидратированного цемента приводит к увеличению прочности бетона в 2-х суточном возрасте на немеханоактивированном вяжущем (контроль) с 8,4 до 9,5 МПа, т.е. на 13%. Механоактивация вяжущего (без добавки молотого гидратированного цемента) повышает прочность бетона по сравнению с контролем на 20% - с 8,4 до 10,1 МПа. Механоактивация в сочетании с МГЦ приводит к увеличению прочности бетона с 8,4 до 11,4 МПа, т.е. на 35%.

Аналогичное влияние молотого гидратированного цемента и механоактивации наблюдается и для бетона в 28-ми суточном возрасте. Подтверждением этого служат графические зависимости, приведенные на рис.2.



**Рисунок 1.** Влияние рецептурных факторов на изменение  $R_{сж}$  бетона в возрасте 2-х суток (расход вяжущего  $350\text{кг/м}^3$ )

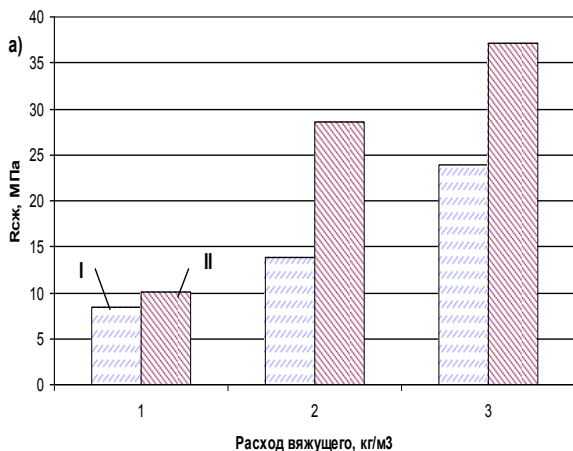
- 1 – контроль;
- 2- бетон с добавкой 5% МГЦ;
- 3- бетон на активированном вяжущем;
- 4- бетон на активированном вяжущем с добавкой 5% МГЦ



**Рисунок 2.** Влияние рецептурных факторов на изменение  $R_{сж}$  бетона в 28-ми суточном возрасте (расход вяжущего  $350\text{кг/м}^3$ )

- 1 – контроль;
- 2- бетон с добавкой 5% МГЦ;
- 3- бетон на активированном вяжущем;
- 4- бетон на активированном вяжущем с добавкой 5% МГЦ

Как видно из рис.2. механоактивация портландцемента в присутствии 5% МГЦ повышает прочность самоуплотняющегося бетона в 28-ми суточном возрасте с 34 (контроль) до 42 МПа, т.е. на 24%. Аналогичное влияние МГЦ и механоактивация оказывают на прочность бетона с расходом портландцемента 450 и 550  $\text{кг/м}^3$ . Это характерно для бетона как в 2-х суточном так и в 28-ми суточном возрасте, рис.3 а,б. Следует обратить внимание на то, что увеличивая расход портландцемента с 350 до 550  $\text{кг/м}^3$  возможно достижение прочности бетона в 2-х суточном возрасте 23,9 МПа. Это позволяет отнести такой вид бетона к быстротвердеющим (согласно ДСТУ Б В.2.7-91-99).



**Рисунок 3.** Влияние расхода вяжущего цемента на изменение прочности бетона:  
 а) – в 2-х суточном возрасте;  
 б) – в 28-ми суточном возрасте;  
 1,2,3 – расход вяжущего 350, 450 и 550 кг/м<sup>3</sup> соответственно;  
 I – контроль;  
 II – 5% МГЦ + механоактивация

В 28-ми суточном возрасте прочность бетона механоактивированном вяжущем с 5% МГЦ превышает прочность контрольных образцов на 15%.

### ***Вывод***

Выявлено ускоряющее влияние на рост прочности самоуплотняющегося бетона механоактивации портландцемента в присутствии 5% МГЦ. Особенно значительно это проявляется в ранние сроки твердения бетона (2 сут) – прирост прочности бетона при сжатии достигает 35% по сравнению с контролем. К 28-и суткам твердения разность в прочностях бетона снижается и не превышает 12...15%

### **Summary**

**The article considers with the degree of joint influence of ground hydrated cement binder and mechanical activation to change the compressive strength of self-compacting concrete.**

## *Литература*

1. Maekawa K. Development of SCC' prototype, Self-Compacting High Performance Concrete/ K.Maekawa, K.Ozawa// Social System Institute, 1999-P.20-32.
2. Ozawa K.Proceedings of the Second International Symposium of Self-Compacting Concrete/ K.Ozawa// -Tokyo,2001.
3. Nawy E.G. Fundamentals of Performance Concrete. / E.G.Nawy// 2<sup>th</sup> Ed.P.E.C.,2001.
4. Aitcin P.C.: High-Performance Concrete./P.C.Aitcin// E&FN SPON, 1998.-591p.
5. Барабаш И.В., Механическая активация минеральных вяжущих веществ. – Одесса.: Астропринт, 2002 – 120стр.
6. Hodakov G.S. Physico – chemical mechanics of solids grinding. Magazinet.60.№ 5, 1998.P. 684-697.
7. Овчаренко Ф.Д, Соломатов В.И. и др. О механизмах влияния тонкомолотого цемента на свойства бетона. – Сб.трудов №2, 1985.С.-395-398.
8. Чистов Ю.Д. Дисперсность молотого портландцемента и ее влияние на микроструктуру цементного камня. – Цемент, №7, 1991. с. 10- 12.
9. Powers T.C. The mechanism of frost action in concrete. / T.C. Powers// “Cement, Lime and Gravel”, 1966, 41, №5, P. 143- 148, 181- 185.
10. Nguyen T.L.H. Correlation between L-box test and rheological parameters of a homogeneous yield stress fluid/ T.L.H. Nguyen, N. Roussel, R. Coussot, // Cement and Concrete Research, № 36, 2006, P. 789-796.
11. Serdan T. Optimization of SCC thanks to Packing model/ T.Serdan, F. de Larrad// 1<sup>st</sup> Int. RILEM Symp. On SCC, Stockholm: RILEM. 1999. – PP.333-335.