

## ПРОБЛЕМЫ СОВМЕСТИМОСТИ ЦЕМЕНТА И ДОБАВОК

*Приведены основные понятия совместимости цемента и различных добавок. Дана удобная методика испытания совместимости добавок. Подробно рассмотрены факторы, которые влияют на данное свойство. Это - процессы адсорбции и диспергирования, явления смачивания и пространственных препятствий, влияния: водопонизителей, характеристик цемента, тонкости помола цемента, минеральных добавок, качества гипса и структуры «цемент-гипс-СП». Даны конкретные методы улучшения совместимости цементов и добавок.*

**Ключевые слова:** совместимость, добавка, дозировка, бетон, цемент

Технология изготовления бетона высокого качества предполагает применение, наряду с цементом, заполнителей и воды, различных модификаторов в виде суперпластификаторов и минеральных добавок. В связи с этим, большое значение приобретает проблема их совместимости, особенно для высококачественных бетонов.

Раньше (в 1975г.) Международный союз лабораторий и экспертов в области испытаний стройматериалов, систем и конструкций (RILEM) обращал внимание на необходимость учета химических составов портландцементов, особенно на содержание  $C_3A$ . С тех пор ученые разных стран стали активно исследовать совместимость цемента и различных добавок. На основании GB50119-2008, под совместимостью цемента и добавок следует понимать способность добавок придавать необходимые технологические показатели и поддерживать на требуемом уровне необходимое время. Когда введение добавок не обеспечивает получение требуемых параметров, то считают, что данный цемент и добавка несовместимы. Для быстрого и эффективного метода оценки совместимости цемента и добавок, видимо, целесообразно использовать метод расплыва конуса цементного теста (GB8077), т.к. на его результаты случайные факторы не оказывают существенного влияния. При этом методе используются: растворомешалка для приготовления цементного теста, конус для определения расплыва испытываемого теста с размерами: диаметр верхнего отверстия 36 мм, а нижнего отверстия - 64 мм и высотой 60 мм, стальная пластина и металлическая линейка.

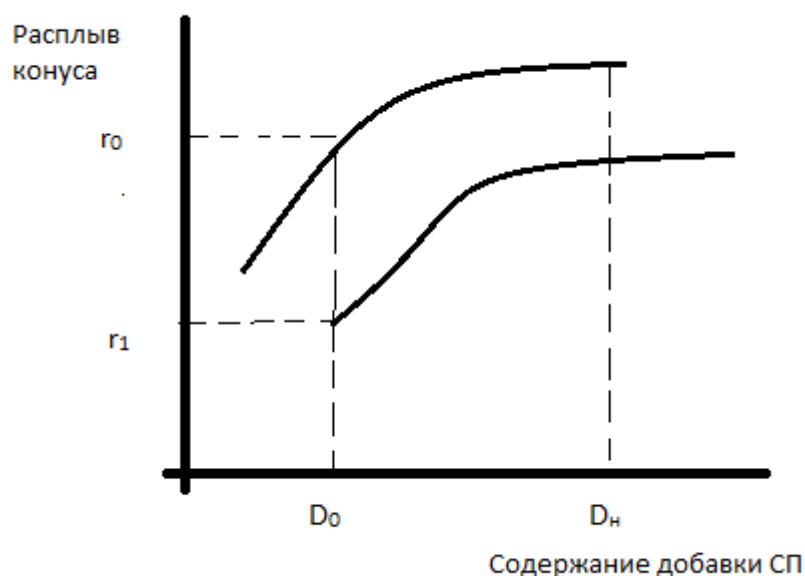
Указанный метод обладает следующими преимуществами:

- небольшое количество используемых материалов,
- низкая трудоемкость при выполнении испытаний,
- достоверные результаты оценки.

Во время испытания меняют соотношение цемента и СП при постоянном В/Ц. Испытание цементного теста осуществляют следующим образом. Испытываемое цементное тесто изготавливают в лабораторной мешалке. Цемент и СП заполняют в мешалку и смешивают в течении 2 мин медленно и потом 3 мин быстро. Приготовленную смесь укладывают в конус и выравнивают поверхность ножом, затем поднимают конус и измеряют диаметр расплыва в двух перпендикулярных направлениях. Среднее значение принимают как первоначальный размер расплыва цементного теста. После этого, через 1 час смесь снова укладывают в смеситель и перемешивают на высокой скорости 2

мин и таким же образом определяют расплыв конуса. В результате испытаний с различным содержанием СП определяют оптимальное его содержание, при котором получают наименьший размер потери величины расплыва конуса через 1 час выдержки.

В итоге, на основании проведенных испытаний, строят график зависимости расплыва конуса цементного теста от содержания СП (рис. 1).



*Рис.1. График оценки совместимости цемента и СП;  $D_n$ -точка насыщения добавки,  $r_0$ -первоначальный расплыв конуса с рекомендуемой добавкой СП-  $D_0$ ;  $r_1$ -расплыв конуса через 1 час выдержки*

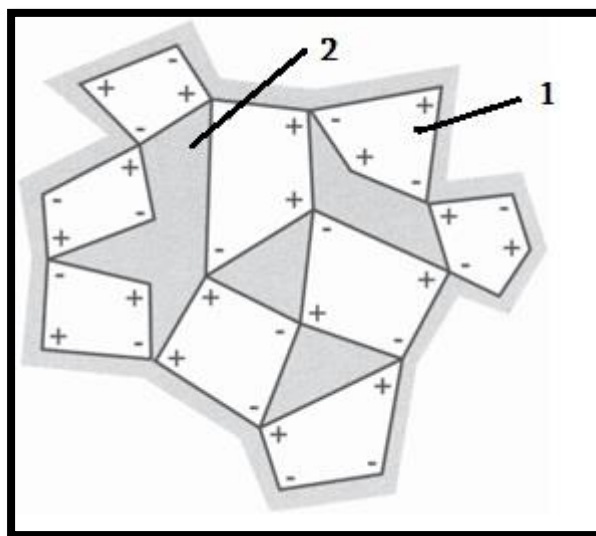
На основании графика, определяется показатель совместимости цемента и СП, когда цементное тесто показывает наибольший размер расплыва конуса и наименьшую величину потери расплыва через 1 час выдержки. На основании макро-анализа многочисленных испытаний, устанавливается соотношение между тремя параметрами: совместимостью цемента и СП, расплывом конуса и величиной потери расплыва для определения оптимальных режимов приготовления смеси. Такими параметрами режима являются наибольшая скорость перемешивания, количество оборотов в минуту и т.д.

С целью оптимизации процесса определения совместимости цемента и добавок следует рассмотреть основные факторы, влияющие на совместимость, и способы управления ими. Такими действующими факторами являются:

- 1) процессы адсорбции и диспергирования;
- 2) явление смачивания;
- 3) явление пространственных препятствий, а также влияния:
- 4) СП на типы продуктов гидратации;
- 5) свойства водопонизителей;
- 6) физические и химические характеристики цемента;

- 7) тонкости помола цемента (такие, как влияние на расплыв конуса, зернового состава и сферичности зерен);
- 8) минеральные добавки;
- 9) качества добавки гипса;
- 10) структуры «цемент-гипс-СП».

**Процессы адсорбции и диспергирования.** Зерна цемента во время перемешивания с водой и в процессе схватывания и твердения формируют флокуляционную структуру, которая сдерживает воду, что приводит к уменьшению подвижности бетона. При этом на поверхности цементных зерен возникают как положительные, так и отрицательные электрические заряды (рис. 2).



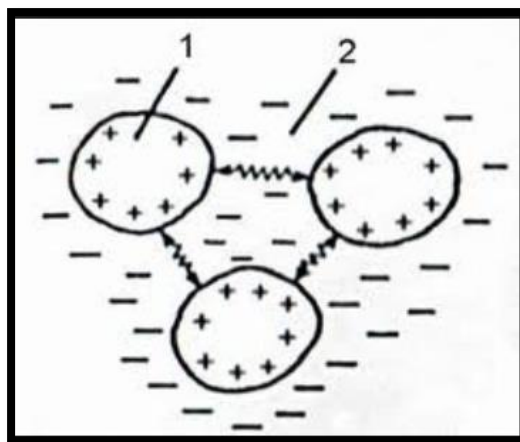
*Рис.2. Флокуляция зерен цемента: 1-цемент, 2- вода*

При размерах частиц  $0,1...2 \times 10^{-4}$  мм проявляются силы поверхностного взаимодействия - флокуляционные. На поверхности кристаллов твердой фазы возникают электрические заряды, которые способствуют образованию флокул, благодаря притяжению положительных и отрицательных зарядов. Вода в флокулах становится неподвижной. В флокулах объем пор значительный, а гравитационные силы проявляются незначительно. Частицы же коллоидных размеров ( $2 \times 10^{-4}...10^{-6}$  мм) взаимодействуют между собой, благодаря сольватной оболочке, адсорбционно связанной на поверхности частиц.

Электрическая ориентировка и большое давление, которое образуется в области молекулярных сил, создает в адсорбционных пленках условия, при которых вода в оболочках становится неподвижной и приобретает свойства твердого тела и пониженную температуру замерзания. На границе раздела образуется  $\zeta$ -потенциал, который называется термодинамическим или полным. На границе же подвижной части двойного диффузионного слоя образуется электрокинетический потенциал  $\xi$ , который оказывает значительное влияние на устойчивость коллоидных систем. Величина  $\zeta$ -потенциала зависит от свойств твердого материала и жидкости (рис. 3).

Частицы цемента в воде адсорбируют ионы  $Ca^{2+}$ , и такая поверхность образует положительный  $\zeta$ -потенциал. Под давлением отталкивающих сил смесь приобретает большую подвижность.

Возможно образование флокул с заземленной неподвижной водой, которая становится гелеобразной. Флокуляция будет уменьшена при увеличении сольватной оболочки или применении СП.



*Рис.3. Схема отталкивания зерен цемента под влиянием  $\xi$ -потенциала: 1-зерна цемента, 2-вода*

Водные оболочки на поверхности коллоидных зерен за счет действия отталкивающих сил обладают свойствами скольжения по местам более слабых водородных связей.

В растворе лигносульфоната зерна цемента, в отличие от бетона без добавок, перемещаются в направлении анода, что свидетельствует об их отрицательном заряде. Анионы добавки адсорбируются на твердой фазе цемента и дают возможность взаимного отталкивания одинаково заряженных зерен, что приводит к их диспергированию. Этот процесс является термодинамически полезным, так как уменьшается величина избыточной межфазовой энергии. Диспергирование обусловлено адсорбцией молекул СП, обладающих расклинивающим действием. Силы Ван-Дер-Ваальса тоже способствуют флокуляции [1].

Добавки СП адсорбируются на поверхности зерен цемента и производят распад флокул и пептизацию агрегатов. При этом они образуют на поверхности цементных зерен оболочки, уменьшают слипание коллоидных частиц и приводят к образованию сил отталкивания. Уменьшение сил притягивания между частицами способствует также увеличению расплыва конуса.

В начальный период при перемешивании с водой образовавшиеся флокулы при воздействии СП отдают воду и увеличивают также расплыв конуса. Отрицательный заряд на поверхности зерен цемента приводит к образованию гидратных оболочек вокруг зерен цемента и предотвращает их коалесценцию. В результате диспергирующего действия СП, часть воды, которая была заземлена между кластерами цементных зерен, освобождается и увеличивает пластичность бетонной смеси. Таким образом, следует считать, что адсорбция СП на поверхности зерен цемента является основной причиной уменьшения водопотребности бетонной смеси.

При надлежащем уровне адсорбции СП на поверхности цементных зерен образуются оболочки сольвата, которые препятствуют непосредственному контакту между зернами цемента и играют роль смазки. Образование нескольких десятков слоев адсорбированных молекул меняет энерговзаимодействие между зернами цемента. Таким образом, образованная полимолекулярная

адсорбция играет роль стерического стабилизатора зерен цемента, что очень важно для представления диспергирующего действия СП.

**Явление смачивания зерен цемента.** На реологические свойства бетонной смеси оказывает влияние также смачивание поверхности зерен цемента при перемешивании во время ее приготовления. При этом, уменьшаются величины свободной поверхностной энергии согласно уравнению Гиббса

$$dG = \sigma_{cw} dS,$$

где  $dG$  - уровень свободной поверхностной энергии;  $\sigma_{cw}$  - сила напряжения в зоне контакта цемента с водой;  $dS$  - площадь смачивания.

При дифференцировании получаем

$$G = \sigma_{cw} SC,$$

где  $C$  - константа.

При постоянной свободной энергии  $G$  системы, отношение  $\sigma_{cw}$  и  $S$  бывает обратнопропорциональным, следовательно, чем больше площадь поверхности контакта, тем меньше сила напряжения в зоне контакта. Это приводит к уменьшению толщины водной пленки вокруг зерен цемента и тем самым, снижению водопотребности.

**Явление пространственных препятствий.** Поликарбоксилатные добавки мало адсорбируются на поверхности зерен цемента, однако они имеют много боковых цепей, которые приводят к образованию пространственного эффекта модификации и высокой реологической активности. При этом, на поверхности зерен цемента формируются стереоскопические перекрестия, которые мешают контакту частиц друг с другом. Это явление называется эффектом пространственных препятствий, который при применении поликарбоксилатных добавок не исчезает в течение более длительного времени, нежели при применении других видов СП.

**Влияние СП на типы продуктов гидратации.** Применение СП оказывает влияние на различные типы продуктов гидратации, так как приводит к формированию из иглообразных кристаллов кубических субмикрочристаллов, которые придают цементному раствору большую подвижность.

В результате применения СП, наряду с основными эффектами снижения водопотребности цементных растворов проявляются также явления адсорбции, диспергирования, смазки, смачивания и пространственных препятствий. При этом главными являются адсорбция и диспергирование.

Добавление в бетонную смесь СП образует ряд эффектов, однако главным является дефлокуляция частиц цемента. При применении СП, плотность зарядов на поверхности цементных частиц позволяет превысить электростатические силы отталкивания по сравнению с силами межмолекулярного притяжения. Таким образом, образуется взаимное отталкивание цементных частиц и их диспергация, а также разрушение флокул. Вода, заключенная в середине флокул, освобождается и увеличивает пластичность бетонной смеси [1]. В итоге, главным фактором воздействия СП в бетонной смеси является адсорбция его молекул на частицах цемента и в основном на продуктах его гидратации. Величину адсорбции можно установить по остаточному содержанию добавки в жидкой фазе.

Обращает внимание явление сглаживания микрорельефа поверхности цементных зерен адсорбирующими молекулами СП, имеющих размеры в несколько *нанометров*, которые тоже увеличивают подвижность цементного теста [2].

**Влияние свойств водопонизителей.** Коэффициент снижения водопотребности при использовании СП обычно достигает 15...20 %. В настоящее время для этого применяют в основном следующие виды СП:

- СНФ - продукты конденсации сульфированного нафталина с формальдегидом (BW);
- СМФ - продукты конденсации меламинасульфокислоты с формальдегидом(SM);
- лигносульфонат кальция (MG);
- эфиры поликарбоксилатов и акрилатов.

**Влияние физико-химических характеристик цемента.** На совместимость цемента и добавок главным образом влияют:

- минералогический состав цементного клинкера;
- тонкость помола;
- зерновой гранулометрический состав;
- форма зерен;
- минеральные добавки и др.

**Влияние минералогического состава цемента на его совместимость с добавками.** В клинкере цемента содержатся следующие основные минералы:

- алит  $C_3S$  ( $3CaOSiO_2$ );
- белит  $C_2S$  ( $2CaOSiO_2$ );
- трехкальциевый алюминат  $C_3A$  ( $3CaOAl_2O_3$ );
- четырекальциевый алюмоферит  $C_4AF$  ( $4CaO Al_2O_3Fe_2O_3$ ).

Значение цементного  $\zeta$ -потенциала возникает при введении в цементную суспензию СП.

Из четырех основных минералов  $\zeta$ -потенциал минералов  $C_3S$  и  $C_2S$  являются отрицательным, тогда как  $\zeta$ -потенциал минералов алюминатного типа является положительным. При этом на совместимость с добавками, в основном, влияют  $C_3A$  и  $C_4AF$ , поэтому чем ниже их содержание в цементе, тем лучше его совместимость с добавками. Влияние на совместимость содержание  $C_3A$  в цементе больше, чем  $C_4AF$ , что связано с адсорбцией добавок на  $C_3A$  или на поверхности продуктов гидратации в начальный период. При этом скорость гидратации  $C_3A$  выше, чем  $C_4AF$  и повышается с увеличением тонкости помола цемента. В связи с тем, что скорость гидратации  $C_3A$  высокая, то с увеличением его содержания в цементе, увеличивается количество адсорбированной воды на поверхности новообразований и уменьшается общее количество воды, что приводит к уменьшению концентрации СП в жидкой фазе и потере дисперсионного эффекта.

**Влияние тонкости помола цемента на его совместимость с добавками.** На дисперсионную способность СП большое влияние оказывает тонкость помола цемента. Для цементного теста без добавок повышение тонкости помола приводит к увеличению процесса флокуляции. При добавлении же СП, происходит деструкция флокул.

В основном, чем тоньше помол цемента, тем больше требуется увеличение количества добавки СП, чтобы обеспечить требуемую пластичность смеси. В Китае было исследовано влияние тонкости помола цемента на его совместимость с СП [2]. Исследования проведены методом распыла конуса с

использованием цементов с тонкостью помола 359 м<sup>2</sup>/кг (Q1), 446 м<sup>2</sup>/кг (Q2) и 550 м<sup>2</sup>/кг (Q3) с разными дозировками С<sub>д</sub> % различных СП (MG, BW, SM). Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Влияние тонкости помола цемента на насыщенную дозировку С<sub>д</sub> с разными СП**

Цемент	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Насыщенная дозировка СП, С <sub>д</sub> %		
		MG	BW	SM
Q <sub>1</sub>	359	0,30	1,2	1,2
Q <sub>2</sub>	446	0,30	1,6	1,2
Q <sub>3</sub>	550	0,35	более 2,0	более 1,6

Из табл. 1 видно, что увеличение тонкости помола цемента приводит к увеличению насыщенности дозировки разных СП.

**Влияние тонкости помола цементов на распыл конуса.** Установлено, что изменение тонкости помола цемента оказывает значительное влияние на величину насыщенности дозировки СП, нежели изменение водоцементного отношения. Во время большой тонкости помола цемента требуется увеличение дозировки СП, а при уменьшении водоцементного отношения доза СП возрастает намного больше. Данные распыла конуса цементных растворов через 5 мин и 1 час после перемешивания при рекомендованных дозах СП: MG-0,25%, BW-0,75% и SM-0,75% и при разной тонкости помола цементов, приведенных ранее Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> и Q<sub>3</sub>, изображены на рис. 4.

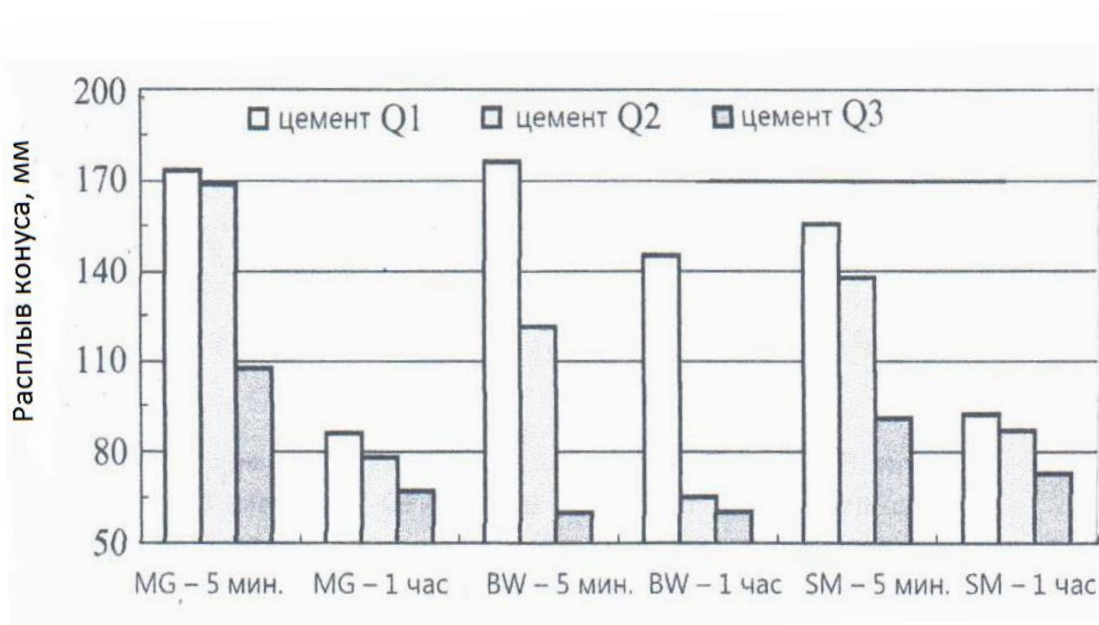


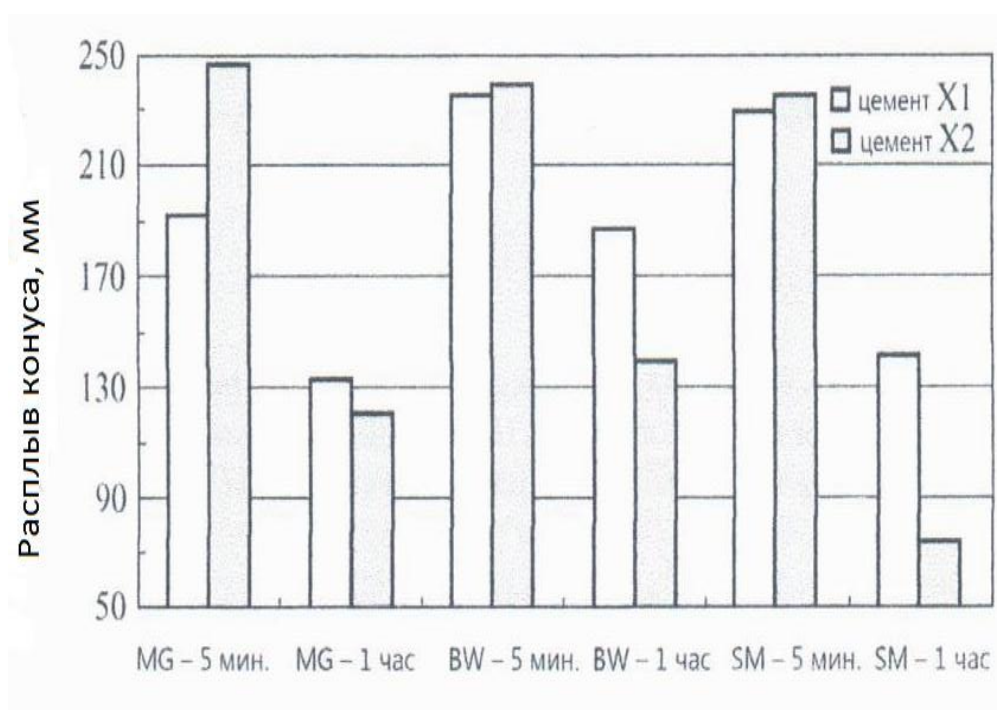
Рис.4. Величина распыла конуса через 5 мин и 1 час

Из рассмотрения диаграмм, приведенных на рис. 2, видно, что наибольший распыл конуса показывает раствор на цементе Q<sub>1</sub>, а наименьший - на цементе Q<sub>3</sub>. Таким образом, для приготовления бетонов с применением СП следует обращать особое внимание на удельную поверхность применяемого цемента и его совместимость с добавкой.

**Влияние зернового гранулометрического состава цемента на расплыв конуса.** На совместимость цемента с добавками наибольшее влияние оказывают зерна с размером менее 3 мкм. Количество таких мельчайших частиц в общем составе цемента, если составляют от 8 % до 18 %, то такие цементы оказывают значительное влияние на эффективность СП. С целью выявления влияния зернового состава использовали два разных цемента –  $X_1$  и  $X_2$  с удельной поверхностью 315 м<sup>2</sup>/кг. Состав  $X_1$  содержит частицы размером менее 10 мкм с большим содержанием частиц с размером 3 мкм, а в составе цемента  $X_2$ -частицы- с размером 24...48 мкм.

Расплывы конуса цементных растворов с рекомендуемой дозировкой СП: MG-0,25%, BW-0,75% и SM-0,75% приведены на рис. 5.

Из рассмотрения диаграмм видно, что расплыв конуса цементного раствора в начальный период больше для цемента  $X_2$ , однако через час расплыв конуса для цемента  $X_1$  превышает значение показаний для  $X_2$ . Это свидетельствует о том, что в случае применения цемента  $X_2$ , имеют место большие потери подвижности цементного раствора.



**Рис.5. Изменение расплыва конуса с разным зерновым составом через 5 мин и 1 час затворения**

**Влияние сферичности цементных зерен.** Сферичность формы зерен цемента способствует выявлению степени приближения формы зерен к шару. В Китае использовали технологию шлифовки зерен цемента овальными шарами для улучшения степени сферичности цементных зерен. Цемент  $T_1$  подвергался помолу в мельнице с овальными шарами, а цемент  $T_2$  - в шаровой мельнице. Для цемента  $T_1$  получена сферичность зерен порядка 0,74, а для цемента  $T_2$ -0,67. На рис. 6 приведены значения расплыва конуса цементного теста через 5 мин и 1 час после затворения при рекомендуемой дозировке СП: MG-0,25%, BW-0,75% и SM-0,75%. При анализе диаграммы рис. 6 видно, что



первоначальный распыл конуса через 5 мин и 1 час больше для состава T<sub>1</sub> и эта разница увеличивается при испытании через 1 час.

**Влияние минеральных добавок.** Минеральные добавки оказывают существенное влияние на эффективность применения СП. Минеральные добавки улучшают совместимость цемента и СП, однако необходимо устанавливать оптимальность тонкости помола, дозировки и вид добавки. Армения богата природными породами, которые могут служить хорошими минеральными добавками. Такими породами являются литоидные пемзы, арагацкий перлит, вулканические шлаки и другие. Для их применения у нас и за рубежом следует создать производство ультратонких порошков, позволяющих применение нанотехнологии.

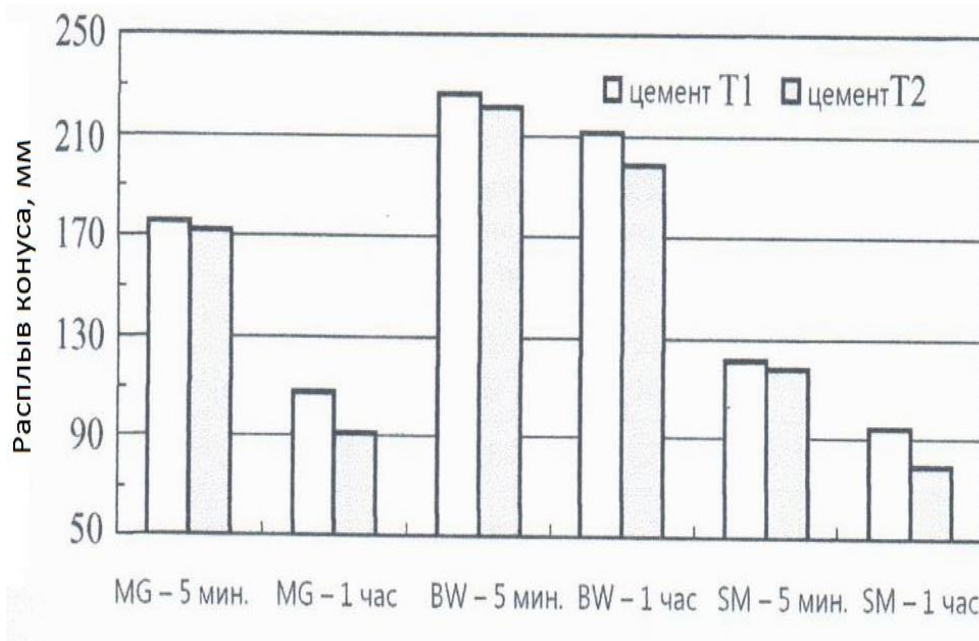


Рис.6. Влияние сферичности цементных зерен на распыл конуса

**Влияние качества добавки гипса.** Содержание в цементе гипса способствует замедлению процессов гидратации, уменьшению объемов продуктов гидратации и улучшению совместимости цемента и СП. Структура растворов с содержанием цемента, гипса и СП является довольно сложной системой (табл. 2).

Таблица 2

Структура системы “цемент-гипс-СП”

Вид цемента	Виды и формы гипса в цементе	Суперпластификатор
<p>Цементный клинкер  <math>C_3S</math>, <math>C_2S</math>, <math>C_3A</math>, <math>C_4AF</math>                      Минеральные добавки  <math>Na_2SO_4</math>, <math>K_2SO_4</math>  <math>Na_2SO_4K_2SO_4</math></p>	<p>Гипс <math>CaSO_4 \cdot 2H_2O</math>,  <math>\alpha</math> <math>CaSO_4 \cdot 0,5H_2O</math>                      Природный гипс <math>CaSO_4</math>,  <math>\beta</math> <math>CaSO_4 \cdot 0,5H_2O</math>                      синтетический гипс</p>	<p>Полимер с низким молекулярным весом.                      Полимер с высоким молекулярным весом.                      Сульфат.                      Другие.</p>

С целью получения необходимого расплыва конуса цементного теста и бетона следует уменьшить скорость гидратации  $C_3A$  в течение начальных 1...2 часа. Для этого следует управлять содержанием  $Ca^{2+}$  и  $SO_4^{2-}$  и растворимостью сульфата в цементе, которая зависит от вида применяемого гипса. Возможно управлять применением различных видов гипса с учетом их степени растворимости (табл.2). На цементных заводах Армении возможно облагородить добавку гипса для получения высококачественных и высокопрочных бетонов.

Таблица 3

*Растворимость различных видов гипса*

Формы гипса	Растворимость гипса, г/л
Гипс	2,08
$\alpha CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$	6,20
$\beta CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$	8,15
Растворимый гипс	6,30
Природный гипс	2,70

В связи с различной скоростью растворения и степенью растворимости различных форм гипса, а также его содержанием в цементе, возможно управлять совместимостью цемента и СП. Содержание  $SO_4^{2-}$  имеет прямое воздействие как на реакцию гидратации цемента, так и на расплыв конуса.

**Методы улучшения совместимости цемента и СП.** Совместимость добавок с цементами является отдельной проблемой бетоноведения, которая стала весьма актуальной в последнее время, что связано со значительным разносторонним увеличением области и технологии применения бетона.

С целью улучшения совместимости цемента и СП, которое имеет большое практическое значение для технологического процесса бетонирования и качества бетона, следует применять нижеследующие меры.

### **1. Управление температурой материалов в мельницах.**

Портландцемент в своем составе содержит природный гипс, который регулирует сроки схватывания. Гидратация  $C_3A$  зависит от содержания ионов сульфата в цементном растворе. В связи с этим необходимо поддерживать содержание гипса в составе цемента и тем самым улучшать совместимость с СП. При этом следует управлять температурой материалов в мельнице, ведь при помоле гипса в мельницах при повышенных температурах образуется полуводный гипс ( $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ ), обладающий высокой растворимостью. Когда при помоле температура бывает более высокой, образуется большое количество полуводного гипса, который приводит к ложному схватыванию цемента. Когда же при помоле температура бывает низкая, может произойти быстрое схватывание цементного раствора. При содержании в цементе полуводного гипса совместно с натуральным гипсом в оптимальных количествах образуется лучшая совместимость с СП, чем для цемента, содержащего ангидрит ( $CaSO_4$ ), когда скорость образования  $SO_4^{2-}$ .

### **2. Введение в состав цемента тонкомолотых минеральных добавок.**

С целью дополнительного снижения водопотребности смесей, в состав цемента необходимо вводить супертонкие минеральные добавки. При увеличении тонкости помола минеральных добавок достигается увеличение прочности цементного камня и улучшение совместимости цемента с СП. При

этом, отдельный помол минеральных добавок и тщательное перемешивание с цементом является способом производства высококачественных цементов.

### **3. Изменение способов введения добавок.**

Технология введения добавок бывает отдельной и комплексной. Она требует оптимизации в каждом случае для улучшения расплыва конуса бетонной смеси. В основном, введение в бетонную смесь СП в конце процесса перемешивания позволяет уменьшить потери величины расплыва конуса во времени.

### **4. Применение реактивных высокополимеров.**

Их применение в качестве добавок способствует улучшению пластичности бетонной смеси и увеличению расплыва конуса. Как видно из рассмотрения множества факторов, влияющих на совместимость цемента и СП, многие из них требуют подробного исследования, как например, применение различных видов гипса, контроль содержания щелочи в составе цемента (нерастворимые и растворимые) и т.д.

#### **Выводы.**

1. Проблема улучшения совместимости цемента и добавок является перспективным направлением для научных исследований, весьма важных для производства бетонных и железобетонных работ.
2. Метод определения совместимости цемента и добавок с использованием технологии расплыва конуса цементного раствора является наиболее эффективным и экономичным.
3. Желательно организовать в Армении производство ультратонких наполнителей, используя природные каменные породы, богатые ценными характеристиками, например: литоидную пемзу, арагацкий перлит, вулканические шлаки и др.
4. Необходимо совершенствовать технологию производства цемента в Армении с целью получения высококачественных бетонов для строительства.

**Ա.Մ.Ասիրյան,  
Ա.Ա.Անտոնյան**

### **ՑԵՄԵՆՏԻ ԵՎ ՀԱՎԵԼԱՆՑՈՒԹԵՐԻ ՀԱՄԱՏԵՂԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱՀԱՐՑԵՐԸ**

*Բերված են ցեմենտի և տարբեր հավելանյութերի համատեղելիության հիմնական հասկացությունները: Տրված է հավելանյութերի համատեղելիության փորձարկման հարմարավետ մեթոդիկան: Մանրամասն դիտարկված են այն գործոնները, որոնք ազդում են տվյալ հատկության վրա: Դրանք են՝ մակակլանման և մանրացման գործընթացները, թրջելիության, տարածական խոչընդոտների երևույթները, ցեմենտի բնութագրերի, ցեմենտի աղացվածքի մանրության, հանքային հավելանյութերի, գիպսի որակի և «Ցեմենտ-Գիպս-ՍՊ» կառուցվածքի ազդեցությունները: Տրված են ցեմենտի և հավելանյութերի համատեղելիությունը բարելավելու մեթոդները:*

**Առանցքային բառեր.** *համատեղելիություն, հավելանյութ, բաժնեքանակ, բետոն, ցեմենտ*

## **ISSUES OF COMPATIBILITY OF CEMENT AND ADDITIVES**

*The basic concepts of compatibility of cement and various additives have been presented in the article. Refer convenient the method of testing the compatibility of additives has been showed. The factors that affect the property have been considered in details. These processes of adsorption and dispersion of cement particles, wetting phenomenon, steric hindrance phenomenon, impact of water reducers, impact of cement characteristics, impact of cement fineness, impact of gypsum quality, impact of mineral admixtures and impact of «cement-gypsum-SP» structure. The specific methods of improving the compatibility of cement and additives were given.*

**Keywords:** compatibility additive dosage, concrete, cement

### **Литература**

1. **Зоткин А.Г.** Бетоны с эффективными добавками. - М.: Инфра-Инженерия, 2014. - 160с.
2. **Юай Юань, Ван Лин, Тянь Пе.** Высококачественный цементный бетон с улучшенными свойствами. - М.: Изд. АСВ, 2014. – 448 с.
3. **Баженов Ю.М.** Технология бетона. - М.: Изд. АСВ, 2007. – 528 с.

**Աշխատանքն իրականացված է ՀՀ պետական բյուջեից գիտական և գիտատեխնիկական գործունեության բազային ֆինանսավորմամբ «ՀՀ ճարտարապետական և շինարարական համալիրների կայուն զարգացման ուղիների բացահայտում, ճշգրտում, ներդրման առաջարկությունների և հանձնարարականների մշակում՝ մշտական մոնիտորինգի կիրառմամբ» ծրագրի շրջանակներում:**

**Ասիրյան Ալբերտ Միքայելի, տ.գ.դ., պրոֆ.** (ՀՀ, ք. Երևան) - ՃՀՀԱՀ, ճարտարապետության և շինարարության պրոբլեմային լաբորատորիա, և.գ.ա., (+374) 93974040, **Անտոնյան Աշոտ Արթուրի, տ.գ.թ.** (ՀՀ, ք. Երևան) - «C-Lab» ՄՊԸ-ի ճարտարագետ, (+374) 77609980, antonyanash@mail.ru:

**Асирян Альберт Михайлович, д.т.н., проф.** (РА, г.Ереван)-НУАСА, проблемная лаборатория Архитектуры и строительства, с.н.с., (+374) 93974040; **Антонян Ашот Артурович, к.т.н** (РА, г.Ереван) - «C-Lab», инженер, (+374) 77609980; antonyanash@mail.ru.

**Asiryan Albert Miquael, doctor of science in Engineering, prof.** (RA, Yerevan)-NUACA, Problem Laboratory of Architecture and Construction, senior scientific researcher, (+374) 93974040, **Antonyan Ashot Arthur, doctor of Philosophy (Ph.D) in Technical Sciences** (RA, Yerevan)- LLC «C-Lab», engineer, (+374) 77609980, antonyanash@mail.ru.

Ներկայացվել է՝ 20.10.15թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 23.10.15թ.