

## **В поисках чудо добавки**

*Е.В. Гордеев, технический директор ООО «ПКФ», Е.А. Индейкин, профессор ЯГТУ,*

*А.Л. Захарычев, технический директор ООО «ВПК-Центр»*

*Так ли уж скверно, как пытаются*

*представить Е. Гордеев,*

*обстоит дело в производстве бетона*

*в нынешнем строительстве?*

*С.А. Подмазова, НИИЖБ [1]*

По-видимому, мы с НИИЖБом работаем в параллельных отраслях. В нашей, например, так. Почти все бетонные смеси не соответствуют требованию ГОСТ 7473-2010 по расслаиваемости. Почти весь конструкционный бетон имеет отвратительный внешний вид. Пустотная плита изготавливается более тридцати минут тремя – пятью рабочими с лопатами, растаскивающими бетон по форме. Пустотообразователи забиваются с помощью ломов. При вибрации раствор проваливается в щебень, щебень обнажается и начинает весело скакать по цеху. Приходится уменьшать вибрацию до полного ее отсутствия. Большая часть покупателей и производителей не в курсе, что это не нормально, так как целые регионы никогда не видели, каким должен быть бетон. Те технологи, кто видел, не найдя решение проблемы в учебнике, все свое рабочее время тратят на поиск чудо добавки. По другому на Воскресенском заводе ЖБКИИ. Там не нашли чудо – добавку, но пустотную плиту изготавливают две слабые женщины в течение десяти минут без особого напряжения. Это наш клиент.

В конце отчетного периода все ищут пропавший цемент. Грешат на воров, обычно, поставщика – перевозчика. Никогда на нормы расхода, которые разработал вооруженный учебником и ГОСТ 27006-86 технолог. Он тоже в отрасли, где все хорошо. Он двадцать лет в бетоне, и все знает. По этим нормам почти всегда в одном кубическом метре 800 – 900 литров.

Считается нормальным изготовление безопалубочных преднапряженных изделий с расходом бездобавочного цемента от 600 кг на куб. Считается, что для них нужны особенные заполнители, а канаты можно резать только после набора прочности 40 мПа. Часто канаты все-равно проскальзывают, но не все на это обращают внимание. Кстати, на том же Воскресенском заводе эти изделия изготавливают на заполнителях без специальных требований с расходом 390 кг цемента ПЦ400Д5, а канаты не

проскальзывают, даже при резке их при прочности бетона 28 мПа. Отгрузочная прочность от 50 мПа.

В 2009-м году, когда мы выпустили первый ПКФ-70, попытались занять место на рынке как производители и продавцы нового поколения добавок, обещая клиентам экономический эффект. С удивлением обнаружили, что более чем в половине случаев на реальных предприятиях эффекта нет! Технологи подбадривали нас: «не волнуйтесь так, у нас никакие добавки не работают». Хорошо еще, что до нас с этой проблемой столкнулись производители поликарбоксилатов, эффективность которых при правильном применении гораздо выше дурно пахнущих сульфодобавок типа С-3. Проблему закрыли, объяснив все зависимостью эффективности добавок от состава клинкера цемента.

Почему то тротуарная плитка, произведенная полусухим вибропрессованием, гораздо темнее литой, произведенной из тех же материалов. Считается нормальным, что в отличие от литой, наполнитель должен торчать из нее во все стороны. Это списывается на особенности технологии. Литая же должна через сезон – два развалиться. Все это считается объективно нормальным. С удивлением обнаруживается, что пластификаторы, улучшающие свойства литых изделий, тем же темпом ухудшают жесткие бетоны.

Нам непонятна растущая популярность микрокремнезема. Этот отход в последнее время жутко востребован, цена его более чем в три раза превысила цену цемента. Якобы только он помогает получить приемлемые прочности, непроницаемости и морозостойкости. Воскресенский завод не использует микрокремнезем, а водонепроницаемость W12 – W16 без перерасхода цемента там – обычное дело.

Почему так?

На наш взгляд, все дело в заблуждениях. Первое заблуждение – чем меньше В/Ц – тем лучше бетон. Следствие – химические добавки якобы должны как можно сильнее пластифицировать. Второе – соотношение сырьевых компонентов можно выбрать исходя из В/Ц, определенного заданной подвижностью смеси и прочностью бетона, насыпного веса щебня с учетом раздвижки его раствором и считая содержание воздуха постоянным и незначительным. Из двух заблуждений следует третье – можно сделать качественный бетон, особенно низкомарочный, без химических добавок, и четвертое – «невозможно рассчитать состав бетона на бумаге» [1].

На самом деле, низкое В/Ц не лучше высокого. Оно не должно быть минимальным, оно должно быть оптимальным. Для определенного количества заданных материалов существует только одно количество воды, которое смочит эти материалы и заполнит пустоты между ними. Только в этом случае смесь будет изотропной и не будет седиментации. При оптимальном значении В/Ц для этих материалов достигается максимум прочности, водонепроницаемости, морозостойкости. На графике рис.1 приведена экспериментально полученная зависимость прочности на сжатие от В/Ц цементного теста через 24 часа твердения в нормальных условиях (цемент №1).

Характеристики цемента, использованных в экспериментах при написании статьи, приведены в таблице.

№	Производитель	Марка	№ партии	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
1	ЗАО «Осколцемент»	ЦЕМ I42,5Н	846 от 2.01.2012	64,12	14,62	9,80	11,35
2			70 от 16.03.2012	63,00	16,00	9,75	11,16

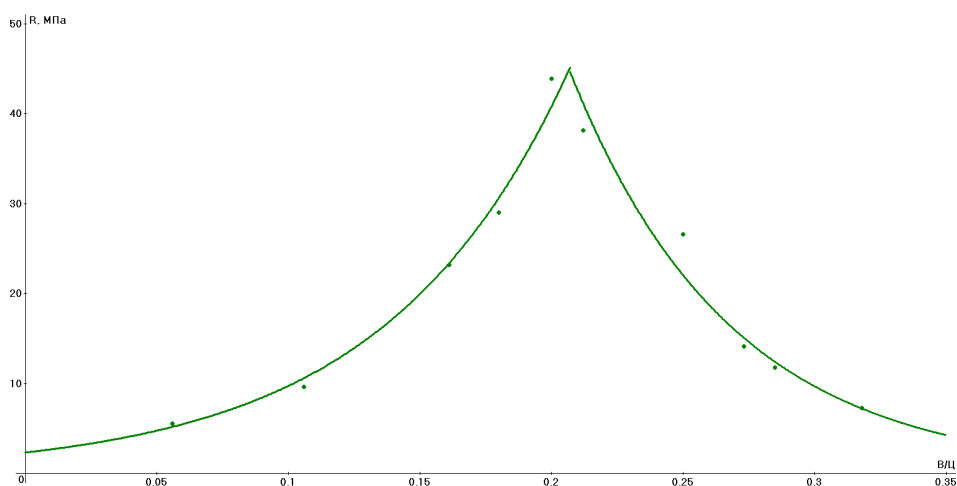


Рис. 1. Зависимость прочности цементного теста от В/Ц

При В/Ц, отличном от оптимального, неоднородность смеси неизбежна. Расслаивание нарастает по мере удаления от оптимума. Из бетонной смеси ГОСТ 7473 структура превращается в нестандартную грязь. Из этой грязи нормальный бетон не получится.

Если В/Ц меньше оптимального, для части цемента не хватает воды для гидратации. Бетон (если его можно так назвать) остается темным. Значительная доля дорогого цемента выполняет банальную роль дешевого заполнителя. Например, на бетоне линии безопалубочного формования ярославского завода «ЭКО», увеличение нормы расхода воды со ста до двухсот литров на куб бетона без учета воды в инертных привело к увеличению 20-ти часовой прочности с 211 до 316-ти кг/см<sup>2</sup> без изменения норм расхода остальных компонентов. Только добавку УП-2 заменили на ПКФ-70Л, чтобы бетон «не поплыл».

Проблемой правильного проектирования бетона является детерминированность удобоукладываемости при оптимальном В/Ц. Для однородной смеси характерны максимальные значения коэффициента межслойного трения и модуля контактной

упругости. На рис. 2 показаны экспериментально полученные реологические характеристики цементного теста для цемента №1 при оптимальном В/Ц и В/Ц меньше и больше оптимального.

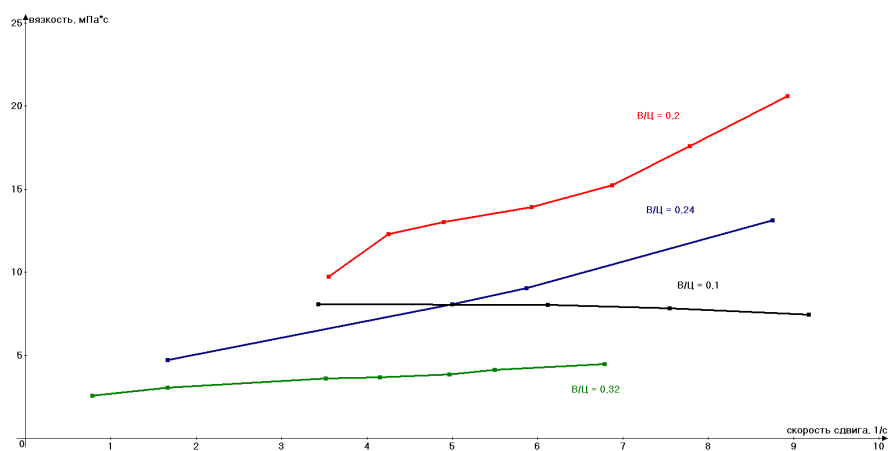


Рис. 2. Зависимость вязкости цементного теста от скорости сдвига

В большинстве случаев удобоукладываемость оптимальной смеси не отвечает требованиям технологии. Необходимо изменять реологические свойства оптимальной смеси для соответствия этим требованиям. Это должны обеспечить химические добавки – модификаторы этих свойств. Именно поэтому хорошего бетона без химических добавок не сделать.

Модификаторы реологии должны смещать реологические характеристики бетонной смеси с оптимальным В/Ц без снижения прочности. Критерием их эффективности, соответственно, должны быть изменение вязкости и модуля контактной упругости по сравнению с контрольным образцом без добавки при оптимальных В/Ц. Методика ГОСТ 30459 не отвечает этому требованию, так как не предусматривает определения оптимума В/Ц, и потому приводит к ложным результатам. Кроме того, ГОСТ 24211 знает только пластифицирующие добавки из числа модификаторов реологии. А смещение оптимума может потребоваться как в сторону пластификации, так и наоборот, загущения. Для жестких смесей это особенно актуально, чтобы не было пятерых сотрудников с лопатами на одну плиту. Поэтому использование конуса для измерения реологии бессмысленно. На рис. 3 на примере пластификатора ПКФ-70П и модификатора пластичности ПКФ-70Л показан характер изменения реологических характеристик цементного теста с оптимальным В/Ц на примере цемента №2.

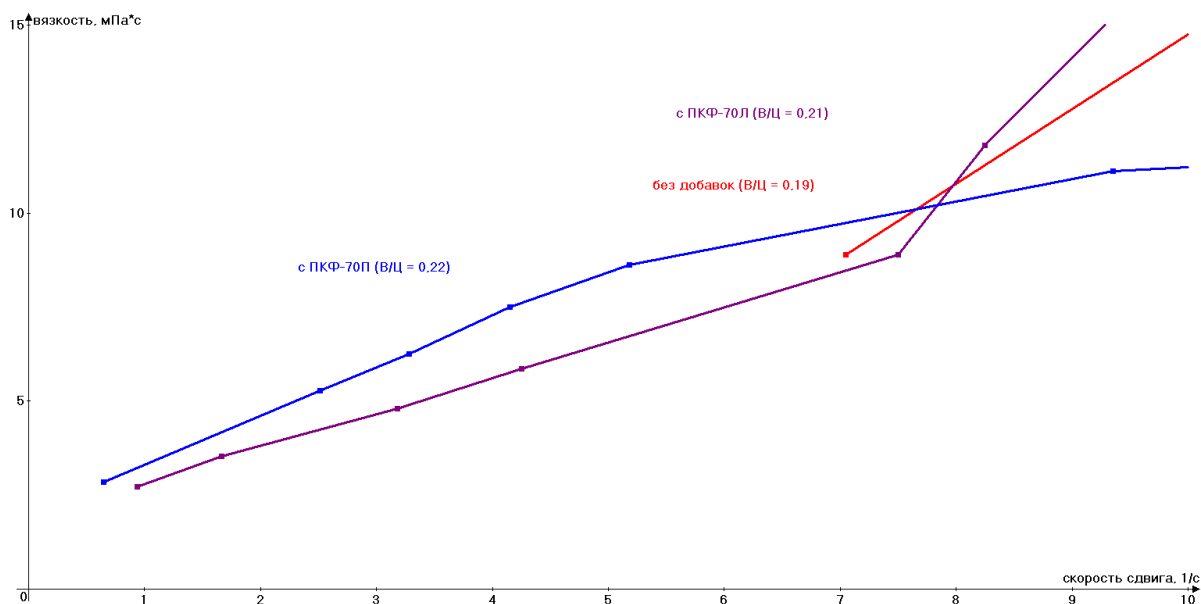


Рис. 3. Влияние модификаторов на реологические свойства цементного теста при оптимальном В/Ц

Из рис. 3 видно, что если пластификатор ПКФ-70П одновременно снижает модуль упругости и межслойную вязкость цементного теста, то модификатор ПКФ-70Л эффективно снижая модуль упругости, повышает межслойное трение. Такой эффект позволяет легко растечься смеси по форме при вибрации и стать «каменной» после снятия вибрации, что особенно важно при изготовлении конструкционных бетонов.

Таким образом, первым необходимым условием получения «правильного» бетона является изотропная смесь, получаемая при оптимальном отношении жидкой и твердой фаз структуры.

В свою очередь, твердая фаза дисперсной системы состоит из веществ разного гранулометрического состава. Цемент, как основа вяжущего компонента композита, может быть как мельче заполнителя, так и крупнее:

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i + \sum_{j=1}^k Z_j$$

где  $Z$  – масса заполнителя, индексу  $i$  соответствуют компоненты заполнителя со средним размером мельче среднего размера цемента,  $j$  – крупнее,  $n$  и  $k$  – количество компонентов. Чтобы частицы цемента могли контактировать между собой при кристаллообразовании, должно выполняться условие:

$$Ц > m_n p'$$

где  $m_n$  – пустотность смеси компонентов заполнителя средним размером меньше среднего размера цемента,  $p'_u$  – удельный насыпной вес цемента.

Однородная по объему дисперсия существует только при выполнении условий:

$$V_i > m_{i+1}; i \in \{1; n-1\}$$

$$V_j > m_{j+1}; j \in \{1; k-1\}$$

где  $V_i$  – насыпной объем смеси компонентов заполнителя от 1 до  $i$ ,  $m_i$  – пустотность  $i$ -го компонента заполнителя. Таким образом, вторым условием является структура твердой фазы, обеспечивающая полное заполнение мелким компонентом пустот крупного, начиная с цемента. Корявый бетон (см. тротуарную плитку) является следствием невыполнения этого условия. Качество поверхности изделия при выполнении условия определяется размером кристаллогидратов цемента.

Если не выполнить сформулированные выше условия, свойства бетона будут в меньшей степени определяться свойствами цементного теста, в большей – недостатками структуры смеси. При неполноценной структуре доля твердой фазы снижается за счет увеличения воздушной фазы при В/Ц меньше оптимального, или за счет жидкой фазы, при В/Ц больше оптимального. И то и другое ведет к седиментации и превращению смеси в сухую или жидкую грязь по критериям ГОСТ 7473. В этих условиях эффективность химических добавок резко снижается, так как они могут изменить свойства цементного теста, но не могут повлиять на структуру смеси.

Увеличение прочности, непроницаемости, морозостойкости бетона с микрокремнеземом в большой степени связано с приближением к выполнению второго условия. Пуццолановые свойства играют роль в значительно меньшей степени, тем более что их действие становится заметным лишь в условиях высоких температур. В таком контексте самый лучший микрокремнезем – молотый песок, поверхность которого может аморфизироваться сдвиговым разрушающим воздействием при измельчении в роторно – инерционных мельницах РИМ.

P.S. Пришла весна – западали дома. Может быть, пора привести в соответствие ГОСТ 24211 и ГОСТ 30459 по критерию эффективности противоморозных добавок, чтобы не вводить в искушение строителей? Или отменить название «противоморозные»?

### **Литература**

1. Гордеев Е.В. Рядовой бетон. Есть ли выход? // ЖБИ и конструкции. 2011.- №3, с. 74-81.