

## РЯДОВОЙ БЕТОН. ЕСТЬ ЛИ ВЫХОД?

Современное российское производство портландцементного бетона связано с балансированием на грани нулевой рентабельности из-за высокой конкуренции и отсталой технологии. Сырье становится все хуже, а доля его в структуре затрат все больше. В этих условиях известные меры совершенствования, связанные с долгосрочными инвестициями невозможны. В статье рассматриваются пути эффективного снижения стоимости сырья без необходимости глобальных инвестиций.



Текст: Евгений Гордеев, главный технолог  
ЗАО «Промтехмонтаж-ЖБИ»

В соответствии со спросом, свыше девяноста процентов производимого в стране бетона имеет класс прочности В30 и ниже. Традиционно распространены два варианта компоновки – цемент, вода, два немых заполнителя или то же самое плюс пластификатор. В последние тридцать лет добавился третий – мелкозернистый бетон с одним заполнителем. Нормы расхода передаются из рук в руки без учета особенностей применяемых материалов. В лучшем случае рассчитываются с помощью методик и программ, типа [1], основанных на линейной зависимости прочности от цемента – водного отношения, известной как формула Боломея [2]. Такой подход прост в практическом применении, вот только корректных результатов и повторяемости не обеспечивает. Уточнение подбора осуществляется методом тыка, как законодательно предписывает ГОСТ 27006-86. О статистических методах расчета прочности и ГОСТ Р 53231-2008 мало кто знает. Стандарт предписывает обеспечивать заданную прочность в любом случае. Практически все работают из расчета получения заданной прочности в половине случаев. Коэффициент вариации нередко достигает 50-ти, но мало кто его контролирует.

Между тем, еще до Боломея с конца 19-го века было известно [3], что есть ничуть не меньше, если не больше, чем цемента – водное отношение, на прочность бетона влияет пористость, или содержание воздуха в камне. Она же является основной причиной перерасхода цемента и неадекватного коэффициента вариации. Снижение содержания воздуха в бетоне за счет соответствующего выбора состава и количества сырьевых компонентов – самый эффективный путь снижения себестоимости и вариации.

Считается, что пористость – необходимая составляющая цементного камня и бороться с ней бессмысленно. Почему-то умалчивается, что на практике главная причина воздуха в смеси – объем пустот смеси заполнителей больше объема цементного теста. Кроме потери прочности, водонепроницаемости и морозостойкости это приводит к таким хорошо известным последствиям как расслаиваемость смесей, низкий класс поверхности бетонов. Попытки решить проблему применением пластификаторов приводят к обратному эффекту – из-

за водоредуцирования объем цементного теста еще более уменьшается. В этом контексте выглядят смешными попытки достижения необходимого коэффициента уплотнения и водопоглощения в жестких смесях мелкозернистых бетонов увеличением давления прессы, подбором параметров вибрирования, поиском чудодейственных добавок и т.п. Типичный пример: расход цемента 450 кг/м<sup>3</sup>, В/Ц 0,3, песок Мкр 3,0. Пустотность песка в уплотненном состоянии 0,32, объем цементного теста, как нетрудно высчитать, 280 л/м<sup>3</sup>. Таким образом, объем воздуха в смеси при любых ухищрениях не может быть меньше 40 л/м<sup>3</sup>. В результате – бетон по прочности и водопоглощению не удовлетворяет требованиям ГОСТ 17608-91. Эту проблему, возникшую у предприятия ООО «Феникс – Рыбинск», удалось решить заменой песка его смесью с песком Мкр 0,16 в оптимальном отношении, обеспечивающем минимальную пустотность. Причем расход цемента был уменьшен до 405 кг/м<sup>3</sup>. Да и мелкий песок дешевле крупного. Но это полумера. На самом деле, в рядовых бетонах расход цемента не должен быть выше 250 – 300 кг на м<sup>3</sup>. А для этого надо минимизировать пористость бетона в целом, включая цементный камень, использовать химические и механические методы активации цемента и оптимизировать В/Ц. Именно оптимизировать, а не минимизировать, как полагают рекламные агенты пластификаторов. Зависимость прочности от цемента – водного отношения не линейна, а унимодальна. Оптимум соответствует необходимому для наиболее полной гидратации цемента количеству воды. Это количество соответствует 27 – 28% от веса цемента усредненного состава [4]. Если воды меньше, количество гидратировавшего цемента уменьшается, и прочность падает. Смесь без воды не имеет прочности. И не стоит забывать, что уменьшая воду для сохранения объема смеси приходится увеличивать расходы цемента и заполнителей, а вода – самый дешевый компонент бетона.

Имеем следующую концепцию компоновки оптимального по цене и параметрам бетона:

- вяжущее должно включать цемент максимальной активности, количество воды и свойства цемента должны обеспечивать максимальную гидратацию к расчетному сроку;

- для уменьшения расхода вяжущего пустотность заполнителя должна быть минимальна;

- стоимость заполнителей должна быть много меньше стоимости цемента.

Эти три метода аддитивны, эффективность их применения складывается. Их можно применять по отдельности, или в сочетании.

Увеличить активность цемента изготовитель бетона может двумя способами – механическим и химическим. Механический заключается в изменении granulometрии цемента. Цемент, как правило, состоит из частиц с максимальным размером 100 мкм, средним 20 – 25 мкм. На рис. 1 представлены дифференциальные распределения размеров частиц цементов турецкого СЕМ I 42,5N и ЦЕМ II/A-П 32,5 Н ОАО «Мордовцемент», полученные методом лазерного исследования. Известно, что в нормальных условиях твердения к обычному проектному возрасту частицы цемента гидратируют на глубину не более 5 – 6 мкм [5]. Частицы размером более 10 – 15 мкм бесполезны для образования клея. С другой стороны, существует гипотеза: «Все известные опыты проводились в том случае, когда в составе вяжущего были как крупные частицы - более 25 мкм, так и мелкие, ниже 5 - 10 мкм. Это все и путает. Если разделить вяжущее на фракции и отдельно на каждую фракцию подать нужное количество воды, то к удивлению обнаружите как отсутствие избыточной водопотребности, так и примерно равные скорости начала кристаллообразования. Но как только фракции смешаете в одном флаконе - то получаете все негативные факторы вместе. Физика процесса проста: с 40 мкм до 5 мкм - огромный рост как удельной поверхности, так и кривизны этой самой поверхности. Вода под действием сил поверхностного натяжения скатывается с крупных частиц к мелким, крупные не успевают гидратировать. Следовательно, чтобы доставить воду на крупные частицы - нужен ее избыток, иначе им никогда не гидратировать. Но этого мало, т.к. мелкие частицы быстро прогидратировав начинают процесс кристаллообразования, а он связан с резким (в разы) увеличением плотности в локальной микрообласти. Вокруг этой области кардинально изменяется напряженно-деформированное состояние системы, когда в центре кристаллообразования обра-

зуется состояние всестороннего сжатия, значит вокруг этой области - состояние растяжения. Из области кристаллообразования начинает выдавливаться несвязанная вода под диким давлением и с дикой скоростью. Это приводит к локальному разрушению ближайшей области начавшей формироваться матрицы. Из-за неодновременного начала кристаллообразования вся структура подвергается диким градиентам различной природы, что приводит к образованию микродефектов к их росту в макродефекты» [6]. Мы разделяем эту гипотезу, следовательно, оптимальным считаем как можно более узкое распределение размеров частиц цемента в границах 10 – 15 мкм.

Внедрению механоактивирующих аппаратов в технологию изготовления бетона препятствуют мифы, порожденные попытками использования для этой цели дезинтеграторов. Главные – «механоактивированный цемент теряет активность при хранении в течение нескольких часов» [7]. «Механоактивация цемента приводит к существенному росту прочности в раннем возрасте, но не влияет на прочность в дальней перспективе».

На самом деле, существенное влияние на свойства цемента оказывает способ формирования разрушающего воздействия. Крайних из возможных способов два – ударный и сдвиговый. При ударном способе разрушения, как это имеет место в дезинтеграторах, происходит не столько измельчение материала, сколько искажение поверхности цемента. Это и приводит к негативным последствиям. Существует альтернатива - цемент, измельченный сдвиговым воздействием [8]. Он теряет активность с обычной скоростью 5 - 10% в месяц, имеет практическое одинаковое преимущество в активности по сравнению с исходным в любом возрасте бетона.

Сдвиговый способ, в комбинации с ударным, реализуется в шаровых мельницах. Однако их применение связано с неприемлемым удорожанием подготовки сырья. В этом году ООО «Рим» планирует начало серийного выпуска роторно – инерционных мельниц для активации цемента, основанных на формировании чисто сдвигового воздействия. Пилотные экземпляры в течение более чем года проходят успешную апробацию на двух предприятиях в Ярославской области. Мельницы имеют производительность 5 т/час при потребляемой

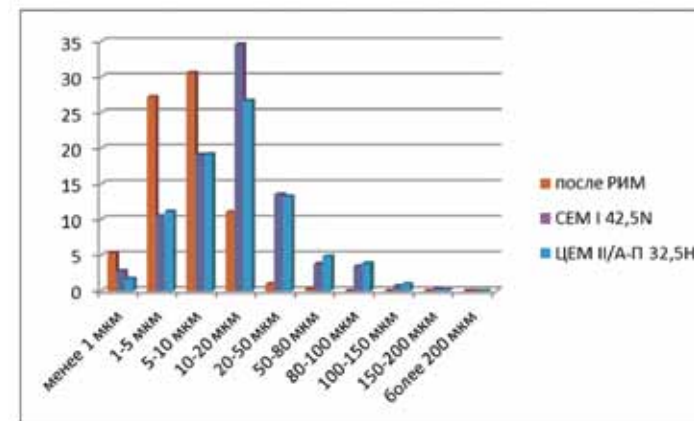


Рис. 1. Дифференциальные кривые распределения размеров цементных частиц



Рис. 2. Активатор цемента на базе РИМ-500

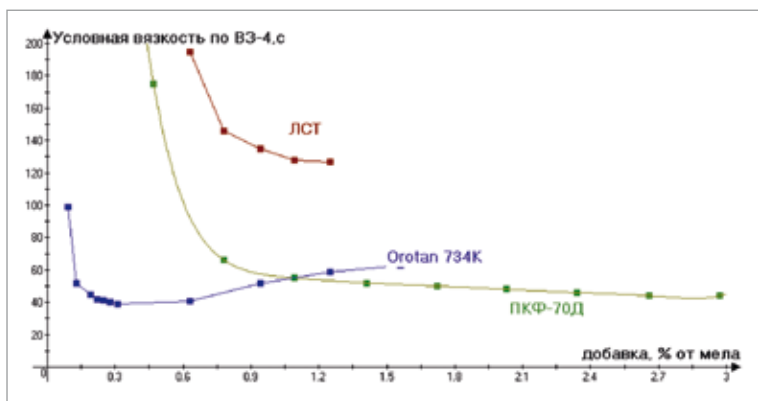


Рис. 3. Оценка эффективности диспергаторов по условной вязкости 70% суспензии мела

мощности 25 кВт, обеспечивают прирост активности цемента на 25-35%. На рис. 1 показана granulometрия цемента после помола, на рис. 2 – внешний вид мельницы. Применяются два варианта доставки активированного цемента к месту хранения – периодический, с помощью пневмокамерного насоса (монжуса) и непрерывный – инжекторным насосом. Процесс активации автоматизирован и не требует присутствия оператора. К недостаткам следует отнести необходимость изменения технологической схемы изготовления бетона и переоборудования системы воздухоотделения для улавливания тонких фракций цемента.

Возможность химического воздействия на активность цемента связана с распространением в последнее время полимерных добавок. В основном применяются добавки пластифицирующего принципа действия. С 30-х годов применяются добавки с активными сульфогруппами – лигносульфонаты, нафталин – меламин формальдегиды. Основной принцип действия – диспергирующий, связанный с увеличением сольватной оболочки цементных частиц с мощным одноименным зарядом поверхности этой оболочки. В принципе действия заложен порок – увеличение разобщенности частиц, затрудняющее кристаллообразование. Действительно, эти добавки хорошо пластифицируют, но одновременно снижают активность цемента, попавше-

го в их раствор. Кроме того, сомнительна с точки зрения совместимости с бетоном химическая природа добавок, основанных на сульфатах. Все это, с нашей точки зрения, ставит под сомнение перспективы применения сульфатных добавок.

От этих недостатков свободны добавки, основанные на карбоксильных группах. Их принцип действия связан с уменьшением межслойного трения бетонной смеси за счет величины и формы гидрофильных полимерных хвостов молекул. Таким образом, основное действие – опять пластифицирующее.

В рядовых бетонах увеличивать активность цемента предпочтительнее, чем пластифицировать – водоредуцировать. Бесконечно снижать содержание воды в бетоне не имеет смысла ни с технической, ни с экономической точек зрения. В последнее время на рынке появились добавки, основное действие которых – увеличение активности цемента, попавшего в их раствор [9]. Серийное производство таких добавок под маркой ПКФ-70 освоено ООО «ВПК». Действующее вещество – олигомеры с активными фосфоновыми группами. Они имеют гораздо меньшие размеры молекул, чем известные полимерные добавки в сочетании с энергетической эффективностью, сопоставимой с сульфонатами. В силу высокой энергетичности добавки активно сорбируются на зародышах кристаллообразования, образуют с ними растворимые комплексы, препятствуя очаговому кристаллообразованию. Этим обеспечивается однородность формирования кристаллов по мере потери воды из-за гидратации.

Для обеспечения оптимального водоредуцирования в сочетании с увеличением активности цемента перспективна модификация пластификаторов олигофосфонатами. Например, ПКФ-70П – продукт модификации лигносульфоната, относится к пластификаторам, но одновременно увеличивает прочность, по сравнению с образцом без добавки, на 20 – 30% при одинаковом В/Ц. Применение добавки при изготовлении безопалубочных плит методом экструзионного формования на Воскресенском заводе ЖБКИИ позволило снизить требования к прочности бетона при снятии натяжения с канатов с 350 кг/см<sup>2</sup> до 280-ти. На наш взгляд это свидетельствует о значительном улучшении свойств

цементного теста из-за однородности.

В полусухом вибропрессовании мелкозернистых бетонов, для которого характерна повышенная пустотность заполнителя, лучшей на рынке оказывается добавка ПКФ – 70В – сочетание олигофосфоната с воздуходиспергирующим компонентом. Ее применение приводит к увеличению прочности и уменьшению водопоглощения продукции в сочетании с уменьшением расхода цемента. Применение добавки позволило Воскресенскому заводу ЖБКИИ сэкономить свыше 25% цемента при формовании изделий на прессе «Бессер».

Если не принимать во внимание возможность использования мытых фракционированных заполнителей, минимизировать пустотность можно расширением диапазона размеров частиц [10] в сочетании с оптимизацией granulometрической характеристики их распределения [11]. Верхняя граница крупности заполнителя ограничена толщиной изделия и технологией работ. Для обычно используемой смеси песка и щебня нижняя граница приблизительно соответствует 100 мкм. При использовании смеси из двух компонентов, даже оптимизируя их соотношение, трудно добиться пустотности менее 0,25. Уменьшить пустотность можно введением компонентов с меньшим размером частиц. Критерием выбора являются цена, адгезия с цементным камнем, водопотребность. По цене возможно применение кремний содержащих заполнителей – шлаков, зол и карбонат содержащих – известняк, мел. По соображениям адгезии и водопотребности применение карбонатов предпочтительнее [12]. Мел дороже чем известняк, но размер его частиц соответствует необходимому. Известняк требует помола.

Частицы рассматриваемого размера склонны к агломерированию, что способствует попаданию воздуха из агломератов в бетонную смесь. В работе [13] обоснован способ ввода карбонатных пород в бетонную смесь в виде водной суспензии. Однако для увеличения степени наполнения суспензии в [13] применялся лигносульфонат, что помешало раскрыть возможности введения карбоната в полной мере. Дело в том, что лигносульфонат – не лучший диспергатор для карбоната (см. рис. 3), кроме того способствует воздухововлечению. Для обоснования способа ввода заполнителя в

смесь был поставлен эксперимент с целью определения вовлеченного воздуха по ГОСТ. Изготовлены и уплотнены с помощью лабораторной виброплощадки образцы цементного теста равной подвижности Пк2 на цементе ЦЕМ I 42,5Н оскольского завода. Первый – контрольный, из цемента и воды. В остальных использовалась смесь цемента и мела МТД-2 в соотношении 9:1. В одном случае мел вводился в сухом виде. В других – в виде 70-ти процентной суспензии, с применением низкомолекулярного полиакрилового диспергатора Orotan 734К фирмы Rhomen&Naas и олигофосфонового диспергатора ПКФ-70Д, не имеющего пенообразования. Результаты измерения объема вовлеченного воздуха приведены в таблице.

Роторно – инерционные мельницы измельчают как сухие, так и жидкие материалы. При применении мельниц «РИМ» для помола суспензий карбонатов отпадает необходимость в смесителе для их изготовления. Мельница сама обеспечивает необходимую однородность при раздельной подаче компонентов на ее входы.

Лабораторные результаты определения экономического эффекта обнадеживают – замена цемента вяжущим на основе оптимального сочетания карбоната в виде водной суспензии на ПКФ-70Д и цемента приводят к экономии средств от 500 руб на 1 м<sup>3</sup> бетона. Изменением пропорций цемента и суспензии можно добиться

оптимальной активности вяжущего для любой марки бетона. Опытное внедрение метода с целью промышленной апробации осуществляется в ООО «Волжский ЖБК» в настоящее время.

С точки зрения минимизации пустотности оптимальным соотношением размеров компонентов является в 6 – 8 раз [14], в то время как разница в размерах между мелом и песком – в пятьдесят раз. Необходимо введение еще одного компонента. Материал необходимых размеров был получен измельчением карьерного песка с  $M_{кр}=2,5$  в мельнице «РИМ». На рис. 4 показаны его гранулометрические характеристики. Кроме успешного применения в тяжелых бетонах, такие размеры позволяют удешевить тяжелую составляющую легких бетонов без потери прочности. Вместо цемента прослойки между легким заполнителем целесообразно формировать из смеси цемента, суспензии мела и молотого на мельнице «РИМ» песка в соотношениях, обеспечивающих минимальную пустотность заполнителя.

Таким образом, эффективно снизить себестоимость бетона, уменьшить коэффициент вариации можно за счет изменения схемы подготовки сырья с использованием роторно – инерционных мельниц, применения современных модификаторов активности цемента и расширением сырьевого ассортимента карбонатами.

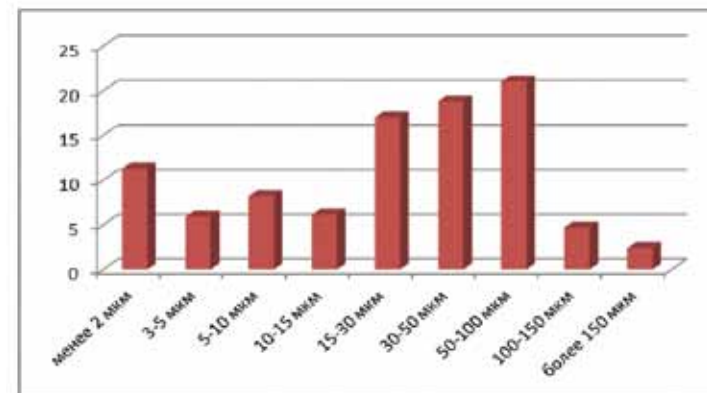


Рис. 4. Гранулометрия песка после мельницы «РИМ»

### Литература:

1. Руководство по подбору составов тяжелого бетона//НИИЖБ, М.: Стройиздат, 1979.
2. Bolomey J. Deformation elastiques, plastiques et de retrait de guelgues betons. Bulletin technique de la Suisse Romande. Ann. 68, №15, 1942.
3. Faury J. Le beton Dronod. Paris, 1953.
4. Кучеренко А.А., Кучеренко Р.А. Зерно цемента – зеркало бетона.// Висник ОДАБА, вип. 27, 2007.
5. Естемесов З.А., Естемесов М.З. Особенности формирования контактной зоны в цементном камне//Сборник ЦЕЛСИМ, вып. 1, 2001.
6. <http://www.allbeton.ru/forum/topic14269-150.html>.
7. Ружинский С., Портник А., Савиных А. Все о пенобетоне. С.-Петербург: ООО «Строй-бетон», 2006.
8. Гордеев Е.В., Индейкин Е.А., Рунов Г.А. Способ механической активации цемента//Патент РФ № 2376067, 2008.
9. Черниговский А.И. Внедрение новых технологий в производство бетонных изделий с целью экономии энергии и цемента//ЖБИ и конструкции, №2, 2010.
10. Тот Л.Ф. Расположения на плоскости, на сфере и в пространстве, М.: ГИФМЛ, 1958.
11. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л., Горячих М.В., Шмигальский В.Н. Проектирование и анализ эффективности составов бетона. Издательство РГТУ, Ровно, 2008.
12. Естемесов М.З., Султанбеков Т.К., Куртаев А.С. Контактная зона цементного камня с различными заполнителями//Сборник ЦЕЛСИМ, вып. 1, 2001.
13. Жидкова Т.В. Бетон с добавкой мела, как высокодисперсной составляющей его вяжущего компонента//Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Харьков, 1992.
14. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981.

### Таблица

Экспериментальное определение воздухововлечения при использовании различных способов введения мела

Состав вяжущего	Цемент, кг/м <sup>3</sup>	Мел, кг/м <sup>3</sup>	Вода, кг/м <sup>3</sup>	Содержание воздуха, %
Цемент (контроль)	1552	0	499	1,85
Цемент + мел в сухом виде	1015	113	363	2,77
Цемент + суспензия на Orotan 734К	1033	111	362	1,79
Цемент + суспензия на ПКФ-70Д	1033	111	362	0,02

## Комментарии

### # – Надежда Кибкало, руководитель лаборатории Воскресенского завода ЖБКий

Благодаря добавке ПКФ70К мы смогли решить главную проблему, исключили проскальзывание канатов на финской линии безопалубочных плит, даже снизили расход цемента на 100 кг.

Бетон В40 готовим на ПЦ400Д20 Воскресенского завода с расходом 390 кг на 1м<sup>3</sup> смеси. С другими добавками, с большим расходом цемента, резку плит начинали при прочности 380-400 кг/см<sup>2</sup>, сейчас режем даже при 280 кг/см<sup>2</sup>. Экономия цемента на одном стенде в месяц составляет 25 тн, а их у нас шесть.

Прекрасно сработала добавка на других изделиях, при расходе 0,1% получаем экономию цемента от 10 до 25%. Учитывая, что прогрев изделия идет при 40 °С летом и зимой, что создает определенные трудности с набором прочности в зимний период, мне опять помогли решить эту проблему, создав ПКФ70П.

Буквально сбылась моя мечта, получился продукт позволяющий готовить и товарный и технологический бетон. Одна добавка на все виды бетона, меняешь расход с 0,1% до 0,2% и получаешь отличный товарный бетон, и даже передозировка добавки, которая не исключена в условиях производства, не испортит его, а просто замедлит процесс твердения.

Хочется отметить еще один факт. Мы давно занимались оптимизацией составов бетона, а поскольку песок был дешевле щебня, то расход щебня в составах свели к минимальному. Применив добавку ПКФ70П расход цемента снизили, низкие марки на 10%, марки 300 и выше до 25%, естественно расход песка увеличился. Теоретически цемента явно не хватало, но прочность бетона говорила обратное. После статьи Е.В.

Гордеева все стало на свои места.

«Свойства бетона определяются свойствами песчано – цементной матрицы, его образующей» - эта фраза стала тем недостающим звеном, которое позволило мне увидеть огромные возможности для получения качественного продукта минимальной себестоимости, который с гордостью можно назвать бетоном.

### # – Бороуля Н.И., инженер-химик ООО «Торговый дом СУПЕРПЛАСТ»

Группа компаний СУПЕРПЛАСТ является одним из крупнейших производителей химических добавок для бетонов в России.

Ежедневно наши специалисты сталкиваются с проблемами, которые в своей статье озвучил господин Гордеев: низкое качество инертных материалов, вяжущих, морально устаревшая нормативно-техническая база. Но справедливости ради, хотелось бы отметить, что даже в этих условиях технологи на местах стараются проводить подборы составов бетона с учетом не только действующей нормативно-технической документации, но и особенностей (в том числе пустотности) и гранулометрии заполнителей, также учитывается химия и минералогия цементов.

Мы в корне не согласны с автором относительно вопросов использования модификаторов бетона.

Использование химических добавок в современном бетоне — объективная необходимость.

Все чаще сегодня в группу «рядовых» относят бетоны с требованиями не только по прочности, но и по морозостойкости, водонепроницаемости.

Добавки позволяют оптимизировать расходы цемента, инертных заполнителей, воды; повышать показатели по морозостойкости, водонепроницаемости, истираемости и дру-

гим показателям.

Полиметиленафталинсульфонаты являются поверхностно-активным веществам, поэтому ни о каком вредном воздействии (в частности сульфатной коррозии) речь не идет. Более того, именно С-3 (полиметиленаульфонат) является до сих пор рекомендованным ведущими научно-исследовательскими институтами модификатором для специальных бетонов. За время использования С-3 проведено огромное количество исследований о влиянии полиметиленаульфонатов на долговечность бетонов. Поэтому опасения автора относительно совместимости нафталинсульфонатов и бетона считаем не обоснованными.

В завершении хотелось бы согласиться с автором в том, что на рынке добавок должны появляться принципиально новые по химической основе и механизму действия модификаторы. Наша компания работает в этом направлении.

### # – E. Akkerman, Oy Cyclotec Ltd, Finland Oy Cyclotec – эксперт по измельчителям

Опытный экземпляр сдвиговой мельницы РИМ-200 изучается нами с 2009-го года. К перечисленным в статье достоинствам можем добавить наличие трибохимических взаимодействий материалов при помоле. К недостаткам мельниц относим невозможность получения субмикронных размеров частиц и отсутствие возможности обработки материалов, в которых пластичность доминирует над упругостью. Возможности мельниц по размеру получаемого материала, по-видимому, ограничены 2-5 мкм при сухом помоле и 0,5-2 мкм при мокром.

Что касается ПКФ-70, это действительно эффективный диспергатор неорганических порошков.

**# – Хабаров А.А., главный технолог  
ООО «Экобетон» (Московская область)**

Использую методы разработки составов и добавки ПКФ-70 несколько лет. Вначале были сомнения, что можно повышать прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, снижать расслаиваемость и при этом экономить цемент. Практика превзошла все ожидания. Уже на следующий день я увидел бетон, которого никогда раньше не видел. Опытная партия превосходила по всем параметрам. Раньше работали на С-3, составы проектировали по СНиПу. С тех пор себестоимость изделий уменьшилась на 25-35%, все технические характеристики изделий в ГОСТе. Вместо регулярных претензий, распространился устойчивый слух, что только у нас качественный бетон. Мы изрядно потеснили конкурентов.

**# – Подмазова Светлана Александровна,  
Вед.науч.сотр лаборатории бетонов НИИЖБ, эксперт-аудитор**

Так ли уж скверно, как пытается представить Е. Гордеев, обстоит дело в производстве бетона в нынешнем строительстве.

Начнем с некоторых утверждений автор статьи: производство бетона балансирует на грани нулевой рентабельности. Во всем мире производство бетона высоко рентабельно. В России она выше, однако, чем в Европе.

«Сырье становится все хуже» - тоже неверно, заводов, которые уделяют качеству сырья должное внимание, становится все больше, как раз из-за «высокой конкуренции».

Совсем уже диковинное утверждение, что «меры совершенствования, связанные с долгосрочными инвестициями невозможны». Только

такие меры и спасут положение, но нужны доступные кредиты, но государство, к сожалению, от механизмом регулирования уклоняется.

Далее:

«Девяносто процентов производства в стране бетона имеют класс прочности В30 и ниже». Судя по интонации Е. Гордеева, это плохо. Посмотрим мировую практику: США на бетон классов по прочности В20 – 25 приходится 60 % общего объема, В25 – В37 – 20 % Европа, страны Евросоюза В20 – 25 – 40 % и В25 – В37 – 50 %, т.е. суммарно те же 90 %, что и у нас. Япония – В37 и ниже – 87 %.

Не так отстают получается Российская промышленность по сравнению с мировой практикой.

Уже совсем презрительно звучит у Е. Гордеева: «подбор составов осуществляется методом «тыка», а по другому не получится. Невозможно рассчитать состав на бумаге и без опытной проверки запустить производство: не менее странное утверждение «о статических методах расчета по ГОСТ 53231 – 2003 мало кто знает».

Только этим ГОСТом и пользуются все заводы, возможно в старой редакции ГОСТ 18105. Побыв два года национальным стандартом ГОСТ Р 53231, этот стандарт вернул себе старый номер как межгосударственный стандарт ГОСТ 18105.

«Стандарт предписывает обеспечивать заданную прочность в любом случае». А как по другому, на то он и стандарт.

«Коэффициент вариации достигает 50 %, но мало кто его контролирует. Контроль коэффициента вариации требует этот самый ГОСТ «который мало кто знает» по утверждению Е. Гордеева. И если этот коэффициент больше 10 – 12 % (50 % - абсолютно нелепое утверждение) у завода уже начинаются проблемы со стабильным обеспечением заданной прочности.

«Ничуть не менее на прочность бетона влияет пористость. Она же является основной причиной перерасхода цемента и неадекватного ко-

эффициента вариации». Весьма сомнительное утверждение, никаких экспериментальных данных в подтверждении его справедливости Е. Гордеев не приводит.

Действительно, бетон содержит воздух, но квалифицированный бетонщик не будет стремиться получить бетон без пор. Он будет стремиться получить оптимальную структуру пор, пор диаметром не более 0,2 мм равномерно распределенных по объему растворной части бетона. Е. Гордеев вычислил «неснижаемый» объем пор в бетоне 40 л воздуха на кубометр бетона. Но это как раз та оптимальная величина воздухоовлечения, которую рекомендует Европейский стандарт на бетон EN 206 – 2011 для обеспечения долговечности бетона в условиях действия попеременного замораживания и оттаивания и агрессивной среды (антиобледенители, морская вода и т.д.).

Статью Е. Гордеева можно разбить на две части – первая анализ состояния технологии производства бетона в России на современном этапе и описание решения некоторых частных проблем, которые возникли на ООО «Феникс – Рыбинск» в части производства тротуарной плитки, судя по ссылке на ГОСТ 17608. Этот ГОСТ, кстати требует, чтобы воздухоовлечение в бетоне для изготовления плиток было в пределах 4 – 5 %, как раз те самые 40 л/м<sup>3</sup>, которые так не нравятся Е. Гордееву.

Первая часть статьи прокомментирована выше.

Основное содержание второй части статьи – предложение по активации цемента как способа снижения расхода цемента до 250 – 300 кг/м<sup>3</sup>. История механической активации цемента с целью его экономии насчитывает не один десяток лет. Странно, автор не в списке литературы не приводит ни одной публикации на эту тему.

Расхваливая предлагаемый способ совершенствования технологий бетона, автор статьи

не упоминает какой же в его экспериментах был достигнут эффект: каков был фактический коэффициент вариации, обеспечивалась ли требуемая долговечность (морозостойкость, истираемость) изделий, как повлияло снижение прочности бетона для преднапряженных плит на их трещиностойкость и обеспечивалась ли анкеровка арматуры и т.д.

Поэтому, отвечая на вопрос, заданный в начале статьи «Есть ли выход?» отвечаем: выход есть и он прежде всего, в старом соблюдении действующих стандартов и требований технологических регламентов, тогда нужда в различных новшествах будет не такой острой.

Критерием применения новых нововведений является не экономия, она часто оказывает

#### # – Анна Андреевна Сердюкова, начальник производственной лаборатории Белгородский завод ЖБК-1

Бесспорно, несовершенство существующих систем обеспечения качества исходных материалов и конечного продукта является глобальной проблемой строительной отрасли России.

Однако, справедливости ради, хочу отметить, что не все предприятия отрасли производства строительных материалов, изделий и конструкций находятся в столь плачевном состоянии. Десятки предприятий в России в настоящее время находятся на пути поэтапной модернизации. Одно из таких предприятий - Белгородский завод ЖБК-1 (ОАО «Завод ЖБК-1»). Что же касается качества выпускаемой продукции, в решающей степени определяющего конкурентоспособность предприятия, то на протяжении 60 лет существования предприятия, ему уделяется первостепенное внимание. Организованы все виды контро-

ля сырьевых материалов, бетонных смесей, бетонных конструкций (входной, операционный, приемосдаточный контроль). Производственная лаборатория оснащена необходимым современным испытательным оборудованием и приборами. Испытания осуществляются в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

Не могу согласиться с общими представлениями автора статьи о подходах к проектированию и корректировке производственных составов бетонных смесей. Кроме того, способ корректировки состава бетонной смеси путем комбинации песков с разным модулем крупности, либо дополнительным введением тонкомолотых наполнителей с целью получения оптимальной плотности упаковки зерен в цементных системах – общеизвестный и широко применяющийся среди производителей прием. Препятствием на пути к подобной оптимизации состава бетонных смесей в производственных условиях чаще всего является отсутствие в требуемых объемах необходимого компонента стабильного качества, либо отсутствие технологической возможности введения нескольких песков или наполнителя.

Нельзя недооценивать роль водоцементного отношения в формировании структуры бетона и обеспечении его конечных эксплуатационных характеристик. Между всеми параметрами долговечности бетона и водоцементным отношением отмечена однозначная зависимость! Увеличение водоцементного отношения влияет отрицательно почти на все технические характеристики бетона и имеет решающее значение для его долговечности. Именно поэтому в стандартах всех стран, будь то ГОСТ, EN, DIN, установлены верхние границы водоцементного отношения, в зависимости от назначения бетона и его конечных эксплуатационных характеристик.

Пористость необходимо рассматривать

как комплексную характеристику размеров, количества и характера распределения пор в твердом теле [1].

Проницаемость бетона зависит от его плотности. Так как зерна заполнителя связаны в плотном бетоне цементным камнем, основную роль в проницаемости бетона играет проницаемость цементного камня. Проницаемость бетона обусловлена наличием капиллярных пор цементного камня и порами в контактной зоне между цементным камнем и заполнителем, а также наличием микротрещин. Для плотности особое значение имеет область капиллярных пор (10 нм... 100 мк), составляющих от 0 до 40% объема цементного камня. Капиллярная пористость – взаимосвязанная часть порового пространства цементного камня, образованная на ранних стадиях твердения, незаполненная новообразованиями. Объем капиллярных пор зависит от водоцементного отношения и степени гидратации вяжущего [2]. Рассмотрим пример: бетон класса В25 можно получить с применением цемента класса прочности 32,5 с В/Ц 0,5 и с применением цемента класса прочности 42,5 с В/Ц 0,62. Однако во втором случае проницаемость бетона будет в четыре раза выше, чем в первом [3].

Известно, что гранулометрический состав оказывает большое влияние на кинетику твердения и марочную прочность цементного камня и бетона [4, 5]. Считается, что оптимальный эквивалентный диаметр частиц портландцемента составляет 5-30 мкм. Однако в литературных источниках мало данных о влиянии гранулометрического состава вяжущего на кинетику твердения и кинетические константы набора прочности цементных систем во времени [6].

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований кинетики твердения портландцементных образцов, изготовленных из цемента с различной крупностью помола [7].

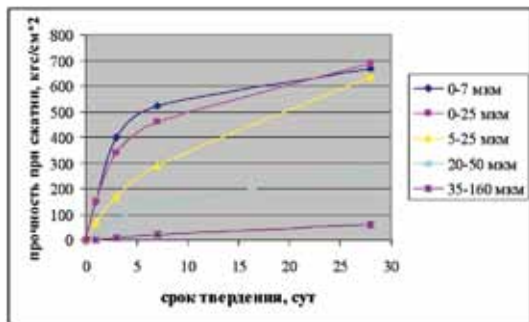


Рис. 1. Рост прочности при сжатии различных фракций цемента

Анализ кинетических кривых приводит к выводу, что чем меньше срок твердения цементных образцов, тем слабее влияние гранулометрического состава цемента на предел прочности цементного камня при сжатии. Таким образом, с уменьшением сроков твердения образцов влияние гранулометрического состава снижается. Этот вывод подтверждается также графической обработкой экспериментальных данных, приведенных на рисунке 1. Из графика (рисунок 2) видно, что при увеличении среднего размера частиц цемента от 3-5 до 15 мкм предел прочности цементного камня растет, а при дальнейшем увеличении размера частиц цемента от 15 до 100 мкм падает.

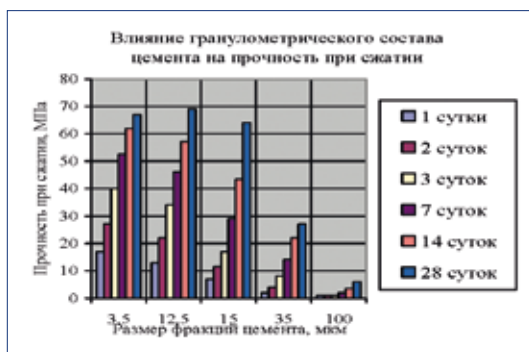


Рис. 2. Влияние гранулометрического состава цемента на прочность при сжатии в разные сроки твердения

Гранулометрический состав оказывает минимальное влияние на физико-механические свойства цементных систем в ранние сроки, т.е. 1-3 суток. В дальнейшем, с увеличением сроков твердения, влияние гранулометрического состава на механическую прочность цементного камня возрастает. В пределах до 28 суток оптимальным размером частиц цемента является 0-25 мкм (в среднем 12-15 мкм). В более поздние сроки максимальную прочность приобретают цементные системы гранулометрического состава 5 - 30 мкм. Чем крупнее размер частиц цемента, тем меньше разница между прочностью цементного камня в возрасте 1 и 28 суток твердения, т.е. меньше скорость роста прочности во времени. Корректировка гранулометрического состава является выгодным способом повышения полезных свойств портландцемента при его активации.

Проблема совершенствования качества и полного использования вяжущих свойств цемента, как наиболее энергоемкого и дорогостоящего компонента бетона, требует разработки и внедрения новых технологических решений по интенсификации процессов твердения, обеспечивающих снижение энергетических и топливных затрат на изготовление бетонных изделий и конструкций.

Зачастую цемент приходит к потребителю, уже потеряв исходную активность. Долгая перевозка, частая перегрузка пневмотранспортом, аэрация, увлажнение при перевозке и хранении – эти факторы способны снизить активность цемента в значительной степени и, как следствие, привести к перерасходу цемента в производстве. Поэтому считаю целесообразной активацию цемента путем интеграции агрегатов активации непосредственно в производственные технологические линии.

Внедрение технологии активации портландцемента является объективной необходи-

мостью сегодняшнего дня. Это даст возможность рациональнее использовать материальные ресурсы, сократить цикл изготовления изделий и конструкций и повысить их качество. Но для повсеместного внедрения технологии активации необходима отработанная практика получения высокоактивных вяжущих веществ, доступная рядовому производителю бетонных изделий и конструкций.

#### Литература:

1. Зоткин А.Г. Воздушные поры и морозостойкость бетона // Технологии бетонов. 2011. №5-6. С. 18-21.
2. Невилль А.М. Свойства бетона: Пер. с англ. – М.: Издательство литературы по строительству, 1972. – 344 с.
3. Штарк Иохен, Вихт Бернд. Долговечность бетона / Пер. с нем. – А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко, Техн. ред. Е. Кавалеровой. Киев: Оранта, 2004, 301 с.
4. Пашенко А.А., ред. Теория цемента. – Киев, 1991, - 166с.
5. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1961. – 646 с.
6. Крикунова А.А., Рахимбаев Ш.М., Харьковская Н.В. О влиянии гранулометрического состава вяжущего на кинетику твердения портландцементных систем // Строительные материалы, оборудование технологии XXI века. 2009. №2. / Технологии бетонов. С. 54—55.
7. Дуда В.Г. Цемент: Пер. с нем.; Под ред. Б.Э. Юдовича. – М.: Стройиздат, 1981. – 465с.