

Александр Черниговский
Заслуженный машиностроитель РФ

Внедрение новых технологий в производство бетонных изделий с целью экономии цемента.

"Экономика должна быть экономной"

Л.И.Брежнев

В статье предложен системный подход к проблеме экономии цемента при производстве бетона с учетом технологических ограничений и возможностей стройиндустрии. Появление новых технологий производства литых и самоуплотняющихся бетонов, а также жестких и сверхжестких бетонных смесей и нового поколения, высокоэффективных пластификаторов на основе эфиров поликарбоната – помимо традиционных подходов ведущих к рациональному использованию цемента требуют использования современных методов контроля расходования цемента при производстве бетона. Традиционные методы визуального контроля "по подвижности смеси" не работают, что ведет к нерациональным тратам цемента. В статье показан экономический эффект от использования высокоточных цифровых микроволновых датчиков влажности для выдерживания оптимального состава компонент бетонной смеси и получения бетона высокого качества и заданной прочности при производстве жестких и сверхжестких смесей. Проанализированы основные мероприятия и даны практические рекомендации по оптимизации трат цемента при производстве товарного и конструкционного бетона.

Введение

В последние годы строительная отрасль стала привлекательной для серьезных инвестиций. Ряд домостроительных комбинатов, заводов КПД и ЖБИ уже провел реконструкцию своих производств, приобретя технологические линии преимущественно зарубежного производства. При этом выбор нового оборудования и подход к модернизации оборудования существующего часто определялись не анализом состояния заводского оборудования и оптимизацией имеющихся на рынке предложений, а лишь субъективными факторами (например, реклама или удачный опыт соседнего завода). При наличии серьезных финансовых средств и уверенности в рынках сбыта можно конечно приобретать мобильные РБУ хорошего качества, такие, как ELBA-WERK MASCHINEN-GESELLSCHAFT GmbH, которые предпочитает брать объединение СЗНК, для производства товарного бетона или LIEBHERR. Однако стоимость одного мобильного завода ELBA около 30млн. рублей. За эти деньги можно построить, по крайней мере, 2 отечественных завода не уступающих по надежности зарубежным.

Рост мощностей по производству товарного и конструкционного бетона, особенно, в Московском регионе привел к дефициту основных строительных материалов и в первую очередь цемента, стоимость которого в 2007г превысила более чем в 2 раза среднеевропейскую. Несмотря на все усилия правительства, и сокращение в 2008г. объемов финансирования промышленного строительства, стоимость цемента в ближайшие 2-3 года будет по-прежнему высока. Полный или частичный отказ от цемента, использование шлакощелочных, сульфатно-шлаковых, шлако-глиноземистых, силикальцитных, зольно-шлаковых, комбинированных гипсовых или песчаных (кремниевых) вяжущих, требует создания новых технологических линий и поэтому не рассматривается в этой статье.

В связи с этим я думаю полезно системно рассмотреть проблемы связанные с экономией цемента в увязке с оптимизацией технологического процесса приготовления бетона, особенно с учетом внедрения новых технологий производства литых и самоуплотняющихся бетонов, а также жестких и сверхжестких бетонных смесей. Приведу основные технологические факторы, влияющие на расход цемента:

1. Цемент:

- тонкость помола, водопотребление, соответствие применяемой марке, повышение активности, набор прочности, уменьшение потерь при транспортировании, использование цемента с минеральными добавками.

2. Наполнители:

- выдерживание гранулометрического состава, оптимальная форма зерен, фракционирование заполнителей, доля мелкой фракции, ну и, конечно же, подготовка заполнителей.

3. Минеральные добавки:

- тонкость помола, реактивность, водопотребление, форма зерен.

4. Химические добавки:

- эффективность, совместимость, содержание щелочи и хлорида.

5. Наномодификаторы

- совместимость

6. Технологические параметры:

- точность дозирования компонент, способ перемешивания, транспортировка, укладка и уплотнение бетонной смеси и последующая обработка бетона.

7. Оптимизация состава с учетом технологических и нормативных ограничений.

Сегодняшняя ситуация в России такова, что при минимальном нормативном расходе цемента на 1 м³ бетона, составляющем 220 кг, реально расходуется 350-550 кг. Причем даже лучшие отечественные заводы, работающие на импортном оборудовании, расходуют в среднем на 30% больше цемента, для производства рядовых бетонов, чем аналогичные Европейские на подобные виды продукции. В чем же причины? Рассмотрим последовательно (step by step) влияние перечисленных факторов.

1. Повышение активности цемента

В настоящее время мировая тенденция такова, что на смену традиционным чистым портландцементом приходят цементы с высоким содержанием (больше 35%) минеральных добавок. Таких как доменный шлак, микрокремнезем, летучая зола, известняковая мука, природный и искусственный пуццолан /1/. Целесообразность увеличения доли минеральных добавок в цементах не вызывает сомнений для цементных заводов, в то же время для потребителей цементов она не всегда однозначна.

Благодаря сепаратным технологиям измельчения отдельных компонентов и последующего гомогенного смешивания стало возможным целенаправленно регулировать гранулометрический состав цемента, получать цементы с оптимальной дисперсностью. Однако при нынешнем дефиците цемента в России, говорить о применении цемента соответствующей марки сегодня не приходится. Хорошо, если удастся работать с одним и тем же надежным поставщиком и цементом соответствующим Европейским стандартам. А получить сертификат на поставляемый цемент с фактическими характеристиками по активности, насыпной плотности, дисперсности и другими параметрами, а не разбросом, допускаемым ГОСТом – весьма затруднительно. Поэтому применять минеральные добавки, например доменные шлаки с оптимальной дисперсностью, имеющие функциональную зависимость от

дисперсности цемента могут позволить себе только крупные предприятия, имеющие хорошо оснащенные лаборатории.

Эффективность цемента можно повысить (а, следовательно, снизить его расход), увеличив тонкость его помола. Хорошо известно, что основные свойства цемента, в том числе его активность и скорость твердения, определяются не только химическим и минералогическим составом клинкера, формой и размерами кристаллов алита и белита, наличием тех или иных добавок, но и, в большей степени, тонкостью помола продукта, его гранулометрическим составом, а также формой частичек порошка.

На предприятиях сборного железобетона для того, чтобы бетон как можно скорее достиг распалубочной прочности, часто идут на завышение марки бетона путем увеличения расхода цемента. Можно избежать этого, если использовать вяжущее более тонкого помола: на таком вяжущем твердение бетона в раннем возрасте происходит быстрее. Можно сэкономить цемент и другим путем: ввести в цемент песок, известняк, золу или какой-либо другой наполнитель и с ним осуществить помол цемента. Однако, как показывают исследования /2/, при этом марка вяжущего снижается, хотя и не совсем в прямой пропорции от количества введенного заполнителя. Для получения бетона марок до 200 и даже выше такое вяжущее вполне приемлемо. В зависимости от количества введенного заполнителя (30-50%) можно сэкономить до 30 % цемента.

Так, например, тульские производители дезинтеграторов заверяют /3/, что совместный помол товарного цемента с известняковым порошком и пластифицирующей добавкой, повышает прочность образцов в начальные сроки твердения, не менее чем на 46 %, а при замещении одной пятой части цемента микронаполняющей добавкой, прирост прочности в возрасте 3 суток составит более 90 %.

Однако надо осторожно относиться к таким заявлениям. Можно поверить в эти цифры для долго хранящегося цемента, с тонкостью помола 2000–2500 см²/г и очень плохой гранулометрией цементных зерен, но для цементов с тонкостью помола 3500–4000 см²/г - сомнительно, особенно для цементов с минеральными добавками. Однако, для получения высокоактивного быстротвердеющего цемента необходимо увеличение тонкости помола с обычных 2000–3000 см²/г до 3500–4500 см²/г, в то же время увеличение удельной поверхности цементного порошка сверх 6000 см²/г нецелесообразно.

Измельчение цемента с добавками приобрело характер эпидемии /4/. Качество добавок не контролируется – золы нестабильны и содержат несгоревший уголь. В США стандартом установлен предельный уровень содержания несгоревшего угля в золе для ее утилизации в бетон – 3.5%. При использовании золы вводят дополнительно органические добавки, уменьшающие захват воздуха в бетон угольными частицами. Очевидно, что у нас этого не делают. Высокое качество цемента подразумевает целый набор свойств, а не только 28 суточную прочность на сжатие кубиков. Действительно, тонкий помол увеличивает скорость гидратации и быстрый набор прочности, уменьшает долю непрореагировавшего клинкера в бетоне (в основном C2S). Но в то же время реология цемента сильно меняется и он может уже не иметь свойств, которые позволяют транспортировать его в силоса и далее подавать питателем в бетоносмеситель. Более того, быстрая гидратация может создать проблемы быстрого схватывания.

Для того чтобы обычные заводы смогли внедрить эти технологии, нужны готовые небольшие технологические линии, а не отдельные агрегаты. Некоторые ученые считают выгодным поставлять на заводы цементы в виде клинкера. Помольные отделения обеспечивают наиболее экономичный расход вяжущих, позволяют в качестве минеральных добавок применять местное сырье, в том числе отходы, позволяют вести мокрый домол. Для организации помола могут быть использованы

малогабаритные устройства, располагаемые в бетоносмесительных цехах между дозирочным и смесительным отделениями. В России имеются единичные экземпляры удачных установок, таких как электромассклассификатор (ЭМК), разработки В.В.Зырянова, эффективные магнитные реакторы-диспергаторы с вихревым слоем ферромагнитных частиц (ABC-100, ABC-150) на постоянных магнитах или с использованием переменного электромагнитного поля для активации цемента и наполнителей, дезинтеграторы мокрого помола (рис. 1-2).



Рисунок 1 Аппарат вихревого слоя ABC- 297

При применении ЭМК, понятие "плохая зола" утрачивает смысл, поскольку ЭМК классифицирует золу по размеру и массе частиц. То есть можно отдельно "вырезать" не сгоревший уголь, или разделить золу на пять фракций. Максимальный экономический эффект от внедрения механической активации в технологию производства бетонов, достигается только при правильном сочетании таких параметров обработки, как избирательность помола товарного цемента, оптимальной энергонапряженности процесса смешивания и доступности сырьевых компонентов. Процесс активации цемента это не только получение оптимальной гранулометрии, формы и поверхности цементного зерна, но и обеспечение его полной гидратации

К сожалению, мне неизвестны организации, которые занимаются внедрением таких технологий, хотя желающих модернизировать бетонные заводы хватает.



Рисунок 2 Дезинтегратор ДЕЗИ-18

2. Качество наполнителей

Можно сократить расход цемента (и при этом повысить качество и долговечность конструкций), если делать бетон из чистых фракционированных заполнителей. Организация производства таких заполнителей потребует значительных капиталовложений, но для народного хозяйства это значительно выгоднее по сравнению с затратами на ремонты и замену железобетонных конструкций, часто выходящих из строя значительно раньше сроков, на которые рассчитана их эксплуатация. В зарубежной строительной практике ни одна фирма не производит бетон на заполнителях одной фракции 5 - 20 мм. Например, в Финляндии он готовится на четырех фракциях чистого крупного заполнителя и двух фракциях мелкого. У нас же это редкость. Вставить в технологическую цепочку рассев с классификацией (рис.3) можно (и нужно) это даст существенную прибавку по эффективности процесса изготовления изделий. Т.е. затраты на рассев с лихвой окупаются на итоге состава смеси и конечной прочности изделий. Это не помол или сушка - это всего лишь обвязка вокруг вибросит. Это самый малозатратный способ поднятия качества производства бетона и по оборудованию и по энергозатратам. Аналогично желательно иметь классификатор крупных фракций. Так, использование песчано-гравийных смесей без корректировки фракционного состава вызывает перерасход цемента до 100 кг/м^3 . Только при таком расходе цемента удаётся получить запроектированную марку бетона по прочности и обеспечить нужную пластичность бетонной смеси. В Москве на ЖБИ-17, ЖБИ-18 и на некоторых других заводах имеется классификация крупного наполнителя по фракциям. Щебень у них идет четко по фракциям, все, что меньше 5 мм и больше 20 мм, в производство не поступает, что позволяет им делать высокомарочный бетон. Однако, на том же ЖБИ -17 не могут одновременно

использовать 2 фракции песка, что затрудняет им получение хорошего гранулометрического состава бетонной смеси. Желательно, чтобы на всех заводах была классификация хотя бы щебня, потому что в нем, часто бывает слишком много пыли, много больше разрешенных 1 – 2 %. К сожалению, в настоящее время проблему чистоты и фракционирования заполнителей предлагают решать самим заводам, а не производителям сырья.



Рисунок 3 Классификатор песка

3. Использование минеральных добавок

Минеральные добавки становятся в последнее время почти обязательным компонентом бетона, обеспечивающим улучшение его технических свойств. Они вводятся в больших количествах ($50-150 \text{ кг/м}^3$ и более) и в сравнении с другими видами добавок оказывают наиболее многоаспектное воздействие на структуру и свойства бетона. Влияние высокодисперсных добавок, наряду с другими аспектами получения высококачественных бетонов, рассмотрены во многих исследованиях. Но для обычных бетонов дополнительное измельчение минеральных добавок или какие-либо способы выделения из них тонкодисперсных частиц нежелательны, т.к. приводят к заметному их удорожанию. Тем более, что при обычной дисперсности они могут улучшать комплекс свойств бетона при одновременном экономическом эффекте за счет снижения не только расхода цемента, но и заполнителей. Кроме того, они могут изменять водопотребность бетонных смесей. В первом приближении целесообразность введения минеральных добавок в бетон можно объяснить, исходя из практики получения бетонов различной прочности на цементе одной марки. Это приводит к расходу цемента от 200 до 500 кг/м^3 . При низких расходах цемента в бетоне имеет место дефицит мелкодисперсных частиц, который и может быть компенсирован введением минеральных добавок. При определении их количества можно исходить из того факта, что наилучшее использование цемента (оцениваемое расходом на единицу прочности бетона) достигается при его содержании

400-500 кг/м³ бетона. Учитывая нежелательные последствия высокого расхода цемента (рост тепловыделения, усадки), за оптимум можно принять 400 кг/м³. Для бетонов с минеральными добавками суммарное содержание дисперсных частиц, обеспечивающее наилучшее использование цемента независимо от его расхода, также составило 400-480 кг/м³, что позволяет уже говорить об оптимальном содержании дисперсных частиц в бетоне /5/. Эффективные способы введения значительного количества минеральных добавок в бетонные смеси могут быть реализованы через технологию вяжущих низкой водопотребности (ВНВ), тонкомолотых многокомпонентных цементов (ТМЦ), интенсивной раздельной технологии (ИРТ). Если, например, при обычном способе введения золы-уноса в бетонные смеси достигается экономия клинкера до 20%, то введение ее с ТМЦ при изготовлении бетонов с суперпластификаторами позволяет сэкономить клинкер и соответственно увеличивать эффективность использования цементного клинкера в 1,5 раза /2/. Принимая во внимание, что эффект заполнения пустот, уплотнение структуры, как и эффект раздвижки мельчайших цементных зерен – являются чисто физическими факторами, которые не зависят от гидравлической активности наполнителя, происхождение ультрадисперсного материала не принципиально и определяется прежде всего доступностью и стоимостью компонентов. При этом надо обязательно контролировать качество наполнителей.

Широкое внедрение мелкодисперсных наполнителей сдерживает их высокая отпыливаемость, особенно наполнителей с добавлением микрокремнезема. Применение микрокремнезема особенно эффективно для высокомарочных бетонов и при вибропрессовании мелкоштучных изделий. В последнее время в качестве добавок-уплотнителей предлагаются более дешевые, хотя и несколько менее эффективные, чем микрокремнезем, тонкодисперсные добавки: метакаолин, зола рисовой соломки, специально переработанные отходы производства силикатного кирпича, газобетона и другие. Наилучшие результаты получаются, если минеральная добавка, например, микрокремнезем или смесь микрокремнезема с золой, смешивается с суперпластификатором заранее и применяется в виде суспензии, что более технологично. Такие смеси получили название органо-минеральных добавок и все шире используются при производстве бетона. Вопрос только в себестоимости такой продукции и возможностей производства использовать такие технологии. В качестве минеральной добавки и вяжущего вещества для бетона наиболее эффективны доменные гранулированные шлаки, обладающие способностью к самостоятельному гидратационному твердению. Как показано в /6/ за счет использования грубодисперсного доменного гранулированного шлака с оптимальной дисперсностью можно снизить расход портландцемента до 40% с одновременным повышением прочности на 8%, а при использовании тонкомолотого (420-470 кв.м / кг) шлака экономится до 60-70% цемента с одновременным повышением прочности бетона до 50%. Но, как уже отмечалось ранее применять доменные шлаки с оптимальной дисперсностью, имеющие функциональную зависимость от дисперсности цемента могут позволить себе только крупные предприятия, имеющие хорошо оснащенные лаборатории.

4.Химические добавки

Современная технология бетона предлагает широкое использование разнообразных добавок для направленного изменения его свойств и экономии основных ресурсов. Наибольшее распространение получили добавки двух больших классов - химические, вводимые в бетонную смесь в количестве обычно до 1...2 % от массы цемента и минеральные, количество которых составляет не менее 5 % массы цемента. Такое деление добавок, также как и принятая терминология являются условными. Действительно, ряд химических добавок могут включать отдельные

минералы также как отдельные минеральные добавки могут быть химическими продуктами. Каждый из указанных классов делится на ряд групп в зависимости от химического состава, преобладающего эффекта или механизма действия. Для усиления и универсализации достигаемого эффекта распространено применение композиционных добавок в т.ч. полифункциональных модификаторов, компонентами которых могут служить добавки, входящие как в один класс, так и представители двух указанных классов /7/.

До недавнего времени в нашей стране в качестве пластифицирующих добавок применялся суперпластификатор С-3, который по своему действию не уступал лучшим зарубежным образцам аналогичного класса, а по стоимости был в 5-6 раз дешевле. При введении в бетон этой добавки можно сэкономить до 20% цемента (при неизменной пластичности бетонной смеси). Также особой популярностью пользовались пластификаторы на основе сульфанатов нафталина и меламина (действие осуществляется за счет электростатического отталкивания одинаково заряженных ионов на поверхности частицы, а также за счет уменьшения поверхностного натяжения воды). Однако появление на рынке высокоэффективных пластификаторов на основе эфиров поликарбоксилата, позволяет улучшить такие характеристики бетона как распыл конуса, время затвердения и удобоукладываемость при раннем наборе прочности. Поликарбоксилаты наряду с эффектами сульфанатов нафталина и меламина, обладают дополнительным преимуществом: структуры макромолекул полимера, которые скапливаются на поверхности частицы - фактически берут на себя функции распорок. В данном случае речь идет о пространственной (стерической) стабилизации /8/. В настоящее время на Российском рынке представлен ряд полимеров поликарбоксилата и полиакрилатов, фирм BASF, Sika, российско – немецкая MC-Bauchemie, российско -белорусская ГП9, на этапе завершения новая разработка компании «Полипласт» - «Динамикс ПКБ» и другие. Ограничивает их применение высокая цена, во многих случаях выгоднее применять модификаторы серии МБ. Кроме того, поликарбоксилаты вовлекают воздух, который может влиять на прочность. При повышенных температуре и влажности может наблюдаться комкование поликарбоксилатного порошка при его хранении. Химических добавок достаточно много. И, чтобы избежать негативных явлений, все добавки надо внедрять только после проведения лабораторных исследований и целой серии промышленных пробных испытаний.

Посредством кондиционирования воды затворения, путем воздействия электромагнитных полей часто удается уменьшить показатели вязкости и поверхностного натяжения воды. И хотя уже во многих странах применяются промышленные установки кондиционирования воды, по мнению многих специалистов, успешное внедрение таких систем происходит только при присутствии в воде достаточного количества ионов металлов. Более интересны подходы фирмы BASF по кондиционированию поликарбоксилатов, что по их заверению резко увеличивает скорость химических реакции и повышает прочность бетона на 10%. Правда не очень понятна экономическая составляющая этой технологии. Однако производство пластификаторов на основе эфиров поликарбоксилата в Европе составляет уже более 50% и их применение быстро распространяется в России, так как позволяет существенно экономить цемент и производить бетон с низким в/ц отношением.

5. Наномодификаторы

Конец XX столетия ознаменовался появлением в области науки и техники таких понятий, как наноматериалы, наночастицы, наноструктуры и т.п., что предопределило

направление дальнейшего развития материаловедения и технологий во всех отраслях, в том числе в строительстве

Рассматривая бетон в качестве композита, сформированного из крупного и мелкого заполнителя, цементного камня, воды и воздушных пор, можно сформулировать основную задачу наномодифицирования, как управление процессом формирования структуры материала снизу вверх (от наноуровня к макроструктуре бетонной смеси) и кинетикой всего спектра химических реакций, сопровождающих процесс твердения. Так, используя нанодисперсный модификатор, причем в концентрациях близких к 10^{-7} (что обусловлено не только экономией, но и агрегативной устойчивостью фуллероидов), возможно управлять кинетикой взаимодействия цемента с водой затворения и добиваться максимальных положительных эффектов на стадиях:

- растворения цементных зерен, получая заданную реологию;
- коллоидации, обеспечивая требуемую сохраняемость подвижности во времени;
- кристаллизации, усиливая гетерофазные границы контактных зон и, таким образом, повышая прочность, водонепроницаемость и морозостойкость бетона /9/.

ОАО "Объединение 45", ООО Бетон и другие крупные предприятия С-Петербурга уже выпускают бетон с наномодификаторами. При применении наномодифицированных добавок повышается прочность бетона или существенно сокращается расход цемента при сохранении заданной прочности. За счет этого себестоимость бетона снижается на 10-30%, - утверждает Юрий Пухаренко, заведующий кафедрой технологии строительных изделий и конструкций СПб государственного архитектурно-строительного университета.

6. Автоматизация производства

Добиться высокого качества при производстве современных литых бетонов, жёстких смесей, конструкционных бетонов и т.д. на отечественном сырье (немытый песок, плохо сеяный щебень и т.п.) можно только при наличии автоматизированного бетоносмесительного узла, оптимизированного под такую задачу и автоматизации технологических процессов виброформования и термообработки железобетонных изделий. Проблемы, связанные с автоматизацией БСУ подробно рассмотрены мною в обзоре /10/. Остановлюсь только на наиболее важных аспектах связанных с экономией цемента.

1. Производство бетона начинают с выполнения подборов номинальных составов в лаборатории. Рабочие составы корректируют непосредственно на заводе в зависимости от влажности инертных, для этого необходим периодический лабораторный анализ влажности или датчик влажности.

В действительности все несколько иначе - на большинстве заводов применяется упрощенная коррекция "по подвижности" - водосодержание бетонной смеси изменяют в зависимости от подвижности смеси на выходе. Из практики - контроль подвижности ведется (если ведется), в основном, визуальный, конус забивать ленятся, да и сам конус не всегда есть в наличии, частенько забывают корректировать выход при изменении влажности. А с эфирами поликарбоксилатов "визуально" работать не получится, смесь более вязкая, для достижения той же осадки конуса нужно большее время - конус "садится" не сразу, визуально такая смесь выглядит менее подвижной - а при измерении может оказаться вообще литой. Вязкость смеси в зависимости от количества добавки и температуры при прочих равных условиях (один и тот же состав, подвижность) может различаться весьма сильно /11/. При использовании поликарбоксилатов очень важно обеспечить последовательное добавление воды и

пластификатора, чем достигается высокая степень удобоукладываемости. При одновременном добавлении воды и пластификатора удобоукладываемость бетонной смеси снижается, что характерно для большинства добавок. Можно дополнительно повысить эффективность применения добавок, если обеспечить их мелкодисперсный распыл. К сожалению, немногие заводы могут использовать такой технологический прием.

Дозирование заполнителей обычно проводится без учета их влажности, даже для новых заводов большинство фирм предлагает датчики влажности, как опцию. Например, при влажности песка 10% вместо 1000кг фактически будет отвешено 900кг песка и на 100кг больше воды. Многие небольшие фирмы даже забывают о такой мелочи (подумаешь погрешность по песку 10%), а ведь это ведет к существенному перерасходу цемента, не говоря уже о качестве бетона и подвижности смеси.

Другим немаловажным, фактором, определяющим качество приготовления бетонной смеси, особенно для жестких и сверхжестких смесей, является однородность перемешивания воды. Сразу следует сказать, что понимание этого вопроса у современных бетонщиков, далеко от идеального. Дело в том, что при увеличении влажности в подвижных бетонах растет их подвижность, а, следовательно, и легкость перемешивания. Действительно глуповато бы выглядел вопрос: «в вашем товарном бетоне вода хорошо перемешана?» совсем другое дело жесткая, а тем более сверхжесткая смесь. Неравномерное распределение воды в смеси здесь очень даже распространенное явление. Так как в жестких смесях (в/ц ниже 0,4) содержание воды недостаточно для обеспечения полноценной гидратации цемента в результате усадки уже в первые дни после бетонирования могут возникнуть сильные напряжения на растяжение, что ведет к трещинообразованию. По существу качество перемешивания воды в сверхжесткой смеси следует измерять, так же как и качество, промесса любого другого компонента. Помимо качества конструкционного бетона неплохо немножко взглянуть на экономические аспекты. Возьмем в качестве примера состав для приготовления 1 куба пескобетона.

1. Цемент 495кг влажность расчетная 0%; влажность фактическая 0%

2. Песок 1530кг влажность расчетная 2%; влажность фактическая 5%

3. Вода расчетная 170л

Расчетное $w/c = (170) \text{ кг} / 500 = 0,34$, плотность 2,2тн/куб.м.

Фактически с учетом влажности песка мы получаем следующий состав

1. Цемент 495кг

2. Песок 1454кг

3. Вода $(170+46)\text{л} = 216\text{л}$.

$w/c = 216/500 = 0,43$.

Теперь, чтобы выдержать заданную прочность (при w/c соотношении равном 0,43 прочность упадет более чем на 30% по сравнению с расчетным $w/c = 0,34$) оператору, чтобы получить $w/c = 0,34$ потребуется, добавить $(46 \text{ кг} / 0,34) 135\text{кг}$ цемента. Если добавить меньше – потеряет в прочности. Уменьшить воду на 46 литров сразу решится не каждый оператор.

Даже минимальная ошибка в дозировании воды в 10л - ведет к потере 30кг цемента, если сохранять заданную прочность (w/c). Хотя погрешность в 1% составляет 15л воды и перерасход 44кг цемента соответственно. Если же w/c еще меньше, например 0,26, то вы получите, для 10л – 38кг цемента на 1 куб. Сколько получится за год – вы легко можете посчитать сами. Хотя 10л составляет погрешность всего 0,6%. А погрешность в 1% влажности проконтролировать без датчиков невозможно, даже если Вы берете пробы через, каждые 2 часа. Хотелось бы увидеть, на каком заводе делают это - хотя бы с влажностью песка, не говоря уже о крупном заполнителе. Для товарного бетона

цифры не так страшны, но даже 7-10 кг цемента на 1куб - за год набегают приличная цифра

Поэтому перерасход цемента без использования датчиков влажности по 30-40кг на 1куб бетонной смеси в России в порядке вещей, особенно осенью и весной.

Те кто умеет считать деньги – ставят датчики влажности. Плохой датчик естественно лучше не ставить. Поэтому очень важно использовать наиболее точные цифровые датчики влажности.

Из доступных на Российском рынке – наименьшую погрешность (порядка 0,1%) имеют цифровые датчики английской фирмы Hydronix. На рисунке 4 показан высокоточный цифровой датчик НМ -06 фирмы Hydronix перед установкой в смеситель на заводе ЖБКиИ (г. Воскресенск), а на рисунке 5 цифровой датчик НР-02 этой же фирмы, измеряющий влажность сыпучих материалов при установке на конвейере.



Рисунок 4 Монтаж датчика НМ-6



Рисунок 5 Датчик НР-Ш на транспортере

2. Для производства жесткой бетонной смеси необходимо круговое впрыскивание воды в смеситель и автоматическая коррекция рецепта при изменении влажности песка и щебня с контролем в реальном времени температуры и влажности смеси. Это не предусмотрено в наиболее распространенных в России бетоносмесителях типа СБ-138. Поэтому их приходится дорабатывать перед установкой в бетоносмесительный узел, что умеют делать всего несколько фирм. Вызывает удивление позиция заводов, которые выпускают бетоносмесители устаревшей конструкции и ничего не предпринимают для их усовершенствования. На рисунке 6 показан пример установки центробежных форсунок в смесителе СБ-138Б, которые позволяют осуществлять последовательное добавление воды и пластификатора. На рисунке 7 получаемый с помощью форсунки факел распыла воды. На сегодняшний день цифровые микроволновые датчики НМ-06, единственные, которые надежно работают в бетоносмесителях типа СБ-138 (рисунок 8).

Определенные резервы уменьшения расхода цемента имеются в отдельной технологии приготовления бетонной смеси. Хотя этот метод давно известен, однако до сих пор не нашел применения в технологии бетона. Для получения желаемого эффекта, прежде всего, необходимы высокоскоростные смесители емкостью, соответствующей количеству раствора, необходимого на один замес бетонной смеси в обычном смесителе. В Японии отдельный метод приготовления бетона применяется с успехом. Компактный турбулентный смеситель, необходимый для такого метода, смонтирован там непосредственно на основном бетоносмесителе, и их производительность полностью увязана между собой. В лучших современных зарубежных системах управления работой БСУ обязательно применяются алгоритмы обратной связи по влажности и температуре смеси, работающие в реальном времени (вместо оператора бетоносмесителя) с использованием оптимальных схем введения цемента, заполнителей, химических добавок и с круговым распылом воды и добавок в

смесителе. Соответствие этим критериям даёт возможность конкурировать с ведущими западными фирмами. В конечном итоге, способность вести равную конкурентную борьбу с лидерами мирового рынка уже является главным показателем уровня фирмы и качества производимого оборудования.



Рисунок 6 Установка форсунок в смесителе СБ-138Б.



Рисунок 7 Факел распыла воды при работе центробежной форсунки.



Рисунок 8 Установка НМ-VI в днище СБ-138

7. Оптимизация составов бетонных смесей

Россия активно идет по пути интеграции с европейской экономикой. Нет сомнения, что пересмотр и разработка новых стандартов по бетону и железобетону, в том числе таких, как ГОСТ 26633, ГОСТ 10180, ГОСТ 7473, ГОСТ 18105 должна вестись на базе использования международных стандартов, прежде всего стандартов СЕН. Для этого есть и юридическая основа, поскольку с 1 января 2005 года подписано соглашение о партнерстве между СЕН и « Ростехрегулирование», которое предполагает использование СЕН как основы для разработки национальных стандартов. В 2007 году мы должны были гармонизировать Евростандарт EN 206. Стандартом EN 206 "Бетоны. Технические условия, эксплуатационные требования, производство, контроль соответствия" включены разделы о критериях контроля и критериях соответствия, причем не только по прочности, но и по другим характеристикам: плотности, В/Ц отношению, расходу цемента и др. Процедура проверки свойств бетона и критерии соответствия разработаны для поддержания стабильного достижения показателей качества в первую очередь прочности бетона. Методы контроля соответствия в этом стандарте аналогичны контролю прочности бетона по ГОСТ 18105. Однако цель европейского стандарта заключается в обеспечении долговечности и надежности конструкций, в то время как основная установка ГОСТ 18105 направлена на снижение средней прочности и расхода цемента. Прочность бетона по ГОСТ 18105-86 определяется по двум характеристикам: по средней прочности в партии и коэффициенту вариации прочности в партии, усредненному по всем партиям за анализируемый период. Стандарт EN 206 для бетонов первой категории, включающей бетоны класса В20, назначает среднюю прочность не ниже 32 МПа, в то время как по ГОСТ 18105 при коэффициенте вариации 7% возможно снижение средней прочности почти на 10,4 МПа по сравнению с европейскими нормами /12/.

Относительно статистического метода определения прочности бетона в ГОСТе четко сказано: если коэффициент однородности бетона будет 13,5, это предел. Все, что выше, — брак. Однако на большинстве заводов даже не контролируют эту цифру.

Похоже мы не готовы к гармонизации требований Стандарта EN 206.

Да и как без датчиков влажности в смесителе добиться малой вариации прочности, что позволяет уменьшить расход цемента, не говоря уже о контроле водоцементного отношения.

Современные зарубежные автоматизированные системы включают программы многопараметрического проектирования составов бетона, контроль их качества и коррекцию в реальном времени состава смеси при изменении характеристик исходных материалов (активности цемента, гранулометрического состава и влажности заполнителей и бетонной смеси) /13/. В странах СНГ также имеются теоретические разработки в данном направлении /7/, но пока в России дело не дошло до их практического внедрения. Тем более об использовании аппарата адаптивной идентификации моделей в условиях нестационарных производственных процессов

8. Заключение

Высококачественные бетоны - многокомпонентные материалы, в которых используются композиционные вяжущие вещества, химические модификаторы структуры, свойств и технологии, активные минеральные компоненты и расширяющие добавки. Многокомпонентность системы позволяет управлять структурообразованием на всех этапах технологии их изготовления. Реализация рассмотренных здесь предложений по экономии цемента во взаимосвязи с многопараметрической оптимизацией составов бетонов помогут нам конкурировать с ведущими зарубежными

фирмами. Так, что же реально можно сделать, чтобы получать качественный бетон и экономить цемент?

1. Работать с одним заводом, цемент которого соответствует европейским стандартам, так как применяемые минеральные наполнители и химические добавки чувствительны к составу цемента.

2. По возможности использовать чистые и фракционированные заполнители. Постараться хотя бы установить классификатор на песок и над бункерами заполнителей.

3. Провести оптимизацию основных рецептур производимых бетонов, с учетом наличия, однородности и стоимости сырья и технологических ограничений. Для этого обратиться к ведущим отечественным НИИ или зарубежным фирмам, предлагающим в России свои услуги. Как показывает практика сделать это силами своих заводских лабораторий, могут только отдельные предприятия, которые способны внедрить у себя программы автоматического многопараметрического проектирования составов бетона, контроль их качества и коррекцию в реальном времени состава смеси при изменении характеристик исходных материалов.

4. Произвести автоматизацию БСУ, которая будет гарантировать Вам точность дозирования всех компонент не хуже требований ГОСТ с установкой датчиков влажности не только в инертные, но и в смеситель, особенно тем, кто использует жесткие и сверхжесткие смеси.

5. Доработать отечественные или приобрести импортные смесители, отвечающие современным требованиям.

6. Внедрять технологические линии позволяющие использовать мелкодисперсные минеральные наполнители и органо-минеральные добавки на основе микрокремнезема.

7. Соблюдать технологическую дисциплину (наверное, это самое трудно выполнимое в России условие).

Автор будет благодарен читателям за любые критические замечания к данной статье.

E-mail vnp@mail.ru , www.gbki.ru

9. Литература

1. Зерен Лотгер Оптимизация процесса смешивания при изготовлении высокотехнологичных бетонов Материалы международной конференции ИССХ -2007, С-Петербург

2. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности", Ростов-на-Дону, изд-во "Феникс", 2007

3. А.Б.Лепилин, Н.В.Коренюгина, М.В.Векслер Портландцемент. Ударная активация. «Популярное бетоноведение», №5, 2007г.

4. Критические комментарии Зырянова Владимира Васильевича к статье «Они не видят. Они не слышат. Они ничего не читают», журнал «Эксперт» №9, 2008 г

5. А.Г.Зоткин Эффекты от минеральных добавок в бетоне Технологии бетонов 2007

6. А.А.Кальгин, М.А.Фахратов Использование промышленных отходов в производстве бетона и сборного железобетона в России //СРП Международное бетонное обозрение август 2007 №2

7.Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. ООО "Строй-Бетон", Санкт-Петербург, 2006г.

8.Виктор Мещерин Высокопрочный и сверхпрочный бетон – технологии производства и сферы применения Материалы международной конференции ICCX -2007, С-Петербург

9.Ю.В.Пухаренко Современное состояние и перспективы применения фуллероидных наноструктур в цементных бетонах. Материалы международной конференции "Популярное бетоноведение - 2008"

10. А.И.Черниговский Современное состояние и перспективы систем автоматизации бетонных заводов // Современные технологии автоматизации. 2007 №4

11.Виктор Фернандез-Алтабль Влияние температуры на подвижность суперпластичного цементного теста //СРІ Международное бетонное обозрение август 2007 №5

12.В.Д. Юрениа Автоматизированные методы оценки однородности прочностных характеристик бетона и регулирование составов на их основе Строительство и недвижимость №19 2005

13. Г.Гебауер,Т.Рефельд СОВЕТ-инструмент контроля качества и отраслевое решение для бетона и строительных материалов.//BFT International Бетонный завод 2006 №1