

Вопросы теории прочности и использования песков в бетоне

К.И. Львович, доктор технических наук, профессор.

Аннотация. Анализируются причины несоответствия результатов проектирования составов бетона, выполненных в соответствии со стандартом, и результаты проектирования составов для жёстких бетонных смесей в ряде современных технологий. Показаны причины несовпадения и пути их устранения. Предложены технологические приёмы, позволяющие повысить прочность бетона без увеличения расхода цемента.

В последние годы наблюдается активное развитие технологий бетонов безопалубочного формования изделий из жёстких и особо жёстких смесей-вибропрессования, пресспроката, непрерывного формования на длинных стендах. Другое активно развивающееся направление-использование безвибрационных технологии. Эти технологии оказались столь эффективными, что их использование привело к созданию, а затем и массовому выпуску как отдельных агрегатов, так и технологических линий, позволивших полностью отказаться от ручных операций при изготовлении изделий из бетона и железобетона и резко сократить персонал предприятий.

- Однако, быстрое развитие указанных направлений в технологиях привело к разрыву между требованиями производства и современным состоянием теории бетонов, которая из движущей силы развития промышленности превратилась в её тормоз. Зависимости, по которым определяется прочность бетона, предложенные Боллом ещё в 20-х годах прошлого века и устанавливающие связь между прочностью бетона и водоцементным отношением, отражали существующий в то время уровень знаний о бетонах, цементах, заполнителях и технологиях.

– Формулы, по которым рассчитывается в настоящее время прочность бетона, а это, в основном, рекомендуемые стандартом формулы Скрамтаева, являются некоторым усовершенствованием формул Болла и не отражают закономерностей процесса формирования структуры материала и влияния технологии на прочность бетона. Известно, что качественные в том числе и прочностные характеристики бетонов, зависят от технологии их изготовления. Изменяется технологический процесс-изменяются свойства полученных бетонов. Это означает, что получить действительную прочность по формулам стандарта можно только при стабильном технологическом процессе и постоянном качестве используемых материалов.

- Различными авторами неоднократно предпринимались попытки откорректировать несовпадение результатов, полученных по формулам Скрамтаева, с практическими результатами подбора составов, введением эмпирических коэффициентов, например, проводить расчёты отдельно для подвижных и жёстких смесей, что только частично могло исправить ситуацию. Действительно, формулы, по которым определяется прочность бетона, не включают зависимости от характеристик используемых материалов, состояния их поверхностей и лишь косвенно (через грубую оценку жёсткости, подвижности) влияние технологического процесса. В то же время практика изготовления бетонов подтверждает зависимость влияния технологии на прочность.

- Кроме того, по указанным формулам прочность бетона всегда ниже марки цемента, что также опровергается практикой изготовления высокопрочных бетонов. В чём причина плохого совпадения практических результатов подбора состава бетона с его расчётом рекомендованным стандартом? Очень важно ответить на этот вопрос. Ведь однажды подобранный состав воспроизводится предприятием ежедневно до тысячи раз (при двухсменной работе и двух бетономешалках). И ошибки, приводящие к перерасходу цемента, стоят дорого.

- Причины очевидны - они в качестве заполнителей, состоянии их поверхности, качестве цемента. Как известно, бетон состоит из заполнителей, склеенных отвердевшим цементным тестом. С некоторым приближением цементный камень можно считать клеем, объединяющим

частицы песка и щебня. Приближение состоит в том, что цементный камень сам обладает некоторыми несущими функциями. Однако, в современных технологиях, когда прослойки цементного теста между зёрнами заполнителя измеряется долями мм (реже мм) их можно считать выполняющими только функции клея.

- В соответствии с требованиями ГОСТ 10268 для бетонов марки 400 и выше должен использоваться щебень марки 1200, то есть в разы превышающий прочность изготавливаемого на нём бетона. Что касается кварцевого песка, то песчинка, состоящая из чистого SiO_2 обладает очень высокой прочностью, многократно превышающей требования к прочности бетона. Все слабые связи песчаного конгломерата уже разрушены воздействием воды, ветра, перемещения ледников, переотложений. Почему же при заполнителях столь высокой прочности-прочность бетона ниже их в разы? Ответ очевиден: они недостаточно хорошо склеены.

- Каковы же причины плохого склеивания? Обозначим основные из них. Российская (Израильская) промышленность нерудных материалов в подавляющем большинстве случаев поставляет на предприятия и стройки неподготовленные пески - без предварительной мойки, загрязнённые глинистыми примесями, находящимися как в межзерновом пространстве, так и непосредственно на зёрнах. Пески эти со случайной гранулометрией, отличающиеся (даже при поставках от одного поставщика) не только в результате неравномерного залегания в местах добычи, но и в параллельных замесах из-за сегрегации зёрен в процессе транспортных операций и различной влажности в том числе в результате хранения на открытых складах.

Щебень поставляется без очистки от пыли, образующейся в процессе дробления и превращающейся в грязь, также из-за хранения на открытых складах. Далеко не всегда качественно выполняется сортировка щебня на фракции, превышаются требования стандарта по лещадности.

- К поставщикам цемента также есть претензии. Нередко данные паспорта как по активности цемента, так и по количеству минеральных добавок не соответствуют действительности (стоимость цемента в разы выше стоимости добавок, а помол добавок в разы дешевле помола клинкера). Как правило, вид минеральной добавки в паспорте на цемент даже не отражается. В связи со сложностью для предприятия провести экспресс-контроль качества поставляемого цемента и невозможностью заменить поставщика создается ситуация «бери, что дают». О методе подготовки заполнителей для склейки в конгломерат – ниже.

- Сейчас- от чего зависит качество склеивания. Физико-химическое взаимодействие между поверхностью заполнителя и цементным клеем зависит от активности поверхности, её химического состава и условий протекания процесса. Активность поверхности будет тем больше, чем меньше взаимосвязаны молекулы на его поверхности. В первую очередь, это касается песка. При длительном хранении и взаимодействии с внешней средой на поверхности песка происходит постепенная переориентация молекул, в результате- замыкание поверхностных связей и образование плёнки, подобной плёнке поверхностного натяжения в жидкости. То есть активность поверхности заполнителя уменьшается, как и уменьшается её взаимодействие с внешней средой. В результате заполнитель плохо сцепляется с цементным тестом, поэтому снижается качество склеивания и прочность бетона. И наоборот, с повышением физико- химической активности поверхности заполнителя взаимодействие между цементным камнем и песком увеличивается. При склеивании заполнителей цементный клей служит промежуточным звеном между склеиваемыми веществами. Молекулы клея, с одной стороны, связываются с молекулами склеиваемого вещества, с другой - либо непосредственно с веществом, либо через дополнительные молекулы клея. И чем меньше промежуточных молекул клея, тем меньше влияние прочности клея на качество конгломерата.

- В каких же случаях прочность клея определяет общую прочность бетона? Если сближение молекул заполнителя недостаточно для формирования прочных связей или силы притяжения между молекулами вещества слишком слабы. То есть чем меньше промежуточных звеньев и, следовательно, тоньше слой клея тем прочнее образующиеся связи. И когда (при определённых условиях) может образоваться максимальное количество связей, то и прочность

бетона может приблизиться к средней прочности заполнителя, превысив прочность цементного камня. Количество связей и их качество зависят от технологического процесса. При стабильной технологии этот фактор никак не проявляется или проявляется очень слабо. В этом случае прочность бетона достаточно точно может быть определена эмпирическими формулами, устанавливающими прочность как линейную функцию цементно-водного отношения. Следовательно, для получения удовлетворительного результата при подборе состава бетона нужно соблюдать принятый технологический процесс, что и предусматривается стандартными условиями испытаний. Отклонения от этих условий приводят к ошибкам. Так как функция прочности непрерывна, то существует множество частных решений. Эмпирические формулы с постоянными коэффициентами отражают в определённой полосе точности только усреднённые значения на определённых участках графика функции, для других участков они неприемлемы.

- И последнее. Какова роль свободной (несвязной) воды в структурообразовании бетона? Известно, что наличие свободной воды приводит к образованию пор в цементном камне, уменьшая его прочность. Кроме того, свободная вода оказывает влияние на образование и прочность молекулярных связей между заполнителем и цементным камнем. Чем активнее поверхность вещества, тем активнее на неё притягивается вода и тем прочнее связь воды с поверхностью заполнителя. Однако, с увеличением слоя воды вероятность прямой молекулярной связи заполнителя с гидратированным цементным тестом будет ослабевать. При испарении воды часть молекулярных связей между цементом, водой и заполнителем получит дополнительное взаимодействие, а значительная их часть оборвётся. Таким образом с увеличением количества свободной воды в бетоне клеящая способность цемента уменьшается, связь между цементом и заполнителем ослабевает, прочность бетона понижается. С другой стороны, вода, смачивая поверхность заполнителя, направляет свободные молекулярные связи наружу, являясь как бы посредником в их образовании. В целом, малое количество воды содействует образованию связей, большое-ухудшает качество этих связей.

- Вернёмся к вопросу подготовки заполнителей и цемента для повышения прочности бетона. Наиболее значимым и дорогостоящим мероприятием является подготовка песка и даже не по степени сложности, а в первую очередь, по степени запущенности проблемы. В большинстве развитых стран природные пески перед использованием в бетоне подвергаются мойке, классификации, обезвоживанию либо высушиванию, контейнеризации и только после этого направляются на предприятие. Для реализации этой программы в Израиле недостаточно провести указанные мероприятия на карьере, необходимо реорганизовать всю промышленность по производству бетона и железобетона: иметь крытые склады для хранения отдельных фракций песка, тракты подачи каждой фракции в смеситель, дозирующие устройства, компьютерный сбор шихты и др. О необходимости проведения этих работ можно прочесть в трудах российских учёных, датируемых 50-ми годами. Однако воз и ныне там. А национальные стандарты от издания к изданию рекомендуют использование фракционированных песков.

- Автором разработан математический аппарат, позволяющий определить оптимальный гранулометрический состав песка для тяжёлых и песчаных бетонов в зависимости от класса (марки) бетона и жёсткости, подвижности бетонной смеси [3]. Этот состав песка, состоящий из требуемого количества необходимых фракций, готовится на карьере и оттуда направляется на предприятие, которое практически не нуждается в реорганизации и приобретении нового оборудования. Снижение расхода цемента при использовании песка оптимального грансостава вместо природного позволяет экономию цемента в тяжёлом бетоне до 20%. Фракции песка, не вошедшие в указанный состав, в отдельном виде накапливаются на прикарьерных складах с фильтрующим основанием и используются для получения растворов и отделочных материалов; пено-, газобетонов [3]. Получив мытый фракционированный песок, предприятие без значительных затрат может повысить его структурообразующую активность, тем самым дополнительно сократить расход цемента следующими способами:

1. Механическими

1.1. Активацией поверхности в результате помола, что позволяет частично (до 25%) заменить цемент тонкомолотым вяжущим (Ц:П=75:25) [2]. Для песков-заполнителей помол приводит к разрыву и обнажению связей на его поверхности.

1.2. Обработкой песка в дезинтеграторах или на бегунах.

1.3. Очисткой поверхности от «вековых» плёнок обработкой в скрубберах.

2. Химическими

2.1. Внесением в бетонную смесь каталитических веществ, повышающих активность поверхности песка: негашёной извести, хлористого кальция [1].

2.2. Введением в бетонную смесь поверхностно-активных веществ [1].

3. Технологическими

3.1. Использованием жёстких и особо жёстких бетонных смесей.

3.2. Применением различных по частоте вибрационных воздействий при перемешивании, дозировке, уплотнении [1].

3.3. Использованием пригрузки при уплотнении с вибрацией.

Таким образом, высокопрочный бетон может быть получен и при небольшом расходе цемента-необходимо только обеспечить слитность его структуры и образование максимального количества молекулярных связей заполнителя с цементным тестом. Разумеется, заполнители должны быть чистыми и в них не должны присутствовать непрочные частицы, дающие очень слабые связи. При увеличении поверхности частиц заполнителя далеко не всегда необходимо увеличивать расход цемента, так как улучшение контактов возможно за счёт уменьшения толщины клевого слоя.

- Повышение прочности бетона должно производиться, в первую очередь, в результате использования подготовленных заполнителей и указанных выше технологических приёмов.

- Приведенная статья была подготовлена в России и для России. Но в мире много стран (Израиль в их числе), где при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций используются природные (неподготовленные) пески и недостаточно подготовленный щебень. Предлагаемый комплекс мероприятий при использовании их в Израиле может существенно улучшить качество изготавливаемых конструкций в том числе их долговечность, сократить расход цемента и значительно снизить себестоимость.

Литература

1. Ребиндер П.А., Михайлов Н.В. Научные основы технологии производства новых материалов. М., Вестник АН СССР №10, 1961.

2. Михайлов Н.В. Физико-химическая теория бетона и основные положения новой технологии бетона и железобетона. Материалы четвертой сессии АСИА по сборному и предварительно напряжённому железобетону. М., 1968.

3. Львович К.И. Песчаный бетон. Теория. Исследования. Практика применения. М., Стройинформиздат, 2015