

О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СОСТАВА БЕТОНА

Кучеренко А.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

С производственной точки зрения рассмотрены проблемы проектирования состава бетона для монолитного домостроения.

Совершенно очевидно, что бетон (и железобетон) определили архитектуру нашего века. Условия эксплуатации его разнообразны, а потому и перечень предъявляемых требований неимоверно велик. В ряде случаев уже практическое применение бетона (фибробетон, высокопрочный и литой бетон и др.) опережает теоретические разработки. Это относится ко всей технологии бетона и, в частности, к ее первому переделу «проектирование состава».

В настоящее время общепризнанным считается расчетно-экспериментальный метод Болемея-Скрамтаева [1]. Он базируется на фундаментальных закономерностях, в частности, постоянстве материального баланса (сумма абсолютных объемов компонентов бетона равна 1 м^3 , т.е. 1000 л готового плотного бетона). Эти закономерности (через ряд коэффициентов) связывают состав (исходное сырье) с прочностью бетона (конечный продукт). Но надо учесть, что длительное время мы занимались сборным домостроением. Изделия и конструкции готовили в заводских условиях с использованием мощных средств уплотнения. Применяли жесткие и малоподвижные (с осадкой конуса до 3 см) бетонные смеси. Это не вызывало особых проблем, но наложило отпечаток не только на составы бетона, но и на формулы расчета их.

Рассчитывая составы бетонных смесей по формулам, получаем расходы крупного заполнителя в пределах 0,8-0,9 м^3 на 1 м^3 бетона (вмешательство и экономиики – щебень один из дешевых компонентов). Такие смеси относятся к тощим, «защебеночным», с относительно малым содержанием цементно-песчаного раствора. В условиях монолитного домостроения уплотнять такие смеси глубинными и площадочными вибраторами трудно, иногда (при насыщенном армировании) и практически невозможно. При монолитном домостроении чаще применяются бетонные смеси с ОК=10...25 см. И если они «защебеночные», что подразумевает и малые расходы песка, то не только характеризуются плохой уплотняемостью, но и повышенным водоотделением. Для

монолитного бетона нужны смеси «жирные», с меньшим до 0,7...0,8 м³/м³ бетона и повышенным расходом цементно-песчаной составляющей. Формулы Болемея-Скрамгаева к этому не готовы и это одна из проблем проектирования состава монолитного бетона. Применение супер- и гиперпластификаторов выбивают из колеи закономерность $R_6 = f(V/C)$ и тоже требует своего места в формулах расчета состава бетона.

Высокопрочные бетоны требуют более качественного исходного сырья, высокой точности дозирования и мощных средств приготовления смесей. А это прерогатива заводского изготовления их. И сразу возникает проблема транспортировки смесей на строительную площадку, так как при ОК=4...6 см автобетоновоз выгрузить их практически не может. Кроме того, когда проектируется прочность бетона выше марки цемента, расчетно-экспериментальный метод требует своих доработок. И все же, несмотря на глубину теоретического обоснования постоянства материального баланса, мы можем подобрать состав бетона с выходом только на прочность (заданную марку бетона). Сегодня этого уже мало, нужен учет и специальных требований к бетону (морозостойкость и др.).

Учет спецтребований к бетону, при проектировании его состава, нашел отражение в монографии О.Л.Дворкина [2]. Это многопараметрическое проектирование составов бетонов разных видов, но с сохранением фундаментальных основ и закономерностей метода абсолютных объемов. Этот метод позволяет обеспечить комплекс заданных показателей свойств бетона при заданных критериях оптимальности. Разработаны алгоритмы многопараметрического проектирования составов бетонов. Приведены количественные зависимости в области проектирования бетонов с нормируемыми физико-механическими свойствами. Изложенные основы теории и методологии, а также компьютерное обеспечение расчетов позволяют надеяться на сдвиг в проблеме проектирования составов спецбетонов.

В технологии стройматериалов широко известно экспериментально-статистическое моделирование (ЭСМ), используемое для оптимизации составов, в том числе и бетонов, в более широком диапазоне «состав-технология-свойство». Проводник его В.А.Вознесенский, а более объемно и глубоко (на базе более чем 30 докторских и кандидатских диссертаций) основы применения ЭСМ изложено в работе Т.В.Ляшенко[3]. Вряд ли в промышленности строй материалов найдет исследователя, отвергающий работу с ЭСМ. Однако недостатки его также очевидны. ЭСМ, взятое много десятков лет назад в районе гербалайфа и почвоведения, еще и сейчас не подработано для

применения его в промышленности стройматериалов, в частности, в технологии бетона. Некоторые из недостатков.

Составу – материальный баланс. При поиске оптимального состава с использованием ЭСМ часть твердых компонентов (например, в $\text{кг}/\text{м}^3$: Ц=250-310, тонкомолотая добавка ТД=10-60 и П=480-600) относятся к переменным факторам соответственно (X_1 , X_2 и X_3). Здесь разница между минимальным ($X=-1$) и максимальным ($X=+1$) уровнями факторов, т.е. размах варьирования, составляет 31%. Другие составляющие этой же смеси (вода и щебень) количественно постоянны. Если принять, что на основном уровне факторов ($X=0$), объем уплотненной бетонной смеси составит 1000 л, то при минимальных расходах переменных он составит 850 л, а при максимальных - 1150 л. Практически в каждом из 15 опытов планированного эксперимента (ПЭ) объем бетонной смеси разный. Это значит, что сознательно нарушается основной принцип сохранения материального баланса при подборе состава бетонов разных видов. Это ведет к тому, что модель $Y=f(X_{1-3})$ и ее результаты виртуальны, далеки от действительности.

Составу – фактические расходы материалов. Несоблюдение материального баланса приводит к тому, что, формуемый кубик объемом 1 л, на основном уровне будет заполнен полностью, а на остальных – недостаток (кубик по высоте менее 10 см) или избыток (кубик по высоте более 10 см) смеси. И не только это, но и средства уплотнения, и нормативные документы требуют перехода от расчетных (планируемых) к фактическим расходам материалов. Без выполнения этого этапа виртуальность результатов ЭСМ бесспорна. И в то же время, если в каждом опыте ПЭ перейти на фактические расходы компонентов бетона интервал варьирования факторов нарушится и вся модель зависнет от такой перегрузки.

Внимание неучтенным факторам. В ЭСМ есть две группы факторов: переменные (планируемые) и постоянные (количественно или режимно закрепленные постоянными). Модель $Y=f(X_{1-3})$ учитывает влияние только переменных факторов, т.е. 100% вклада в отклик (например, прочность бетона) дают переменные факторы. На самом деле определенная (быть может значительно большая) доля в этом же отклике и постоянных (в модели не учтенных) факторов, которых и количественно значительно больше чем переменных.

Пример одной из 30 диссертаций. Оптимизируется состав бетона по 3-х факторному плану. Три компонента бетонной смеси варьируются, остальные (режимы приготовления, уплотнения и тепловой обработки) постоянные для всех 15 опытов. Подвижность бетонной смеси изменялась от 1-2 до 25 см осадки конуса. Второй отклик, прочность бе-

тона при сжатии, также изменялся в определенных пределах. Составляется модель $R_{сж}=f(X_{1-3})$. Результаты этой модели виртуальны, так как с уверенностью можно сказать, что в этом случае не состав (факторы переменные учтенные), а технология (факторы постоянные неучтенные) определяли величину прочности бетона при сжатии. Потому что, если в каждом опыте ОК смеси изменялась от 1 до 25 см, то кардинально надо менять и технологию в каждом опыте. Так малоподвижные смеси с ОК=1 см лучше готовить в бетономешалках принудительного (или длительного свободного) перемешивания, мощных средств уплотнения и коротких, без предварительной выдержки режимов тепловой обработки. Наоборот, смеси с ОК=25 см литые требуют бетономешалок свободного падения и коротких режимов перемешивания, вибрирование не рекомендуется во избежание расслоения смеси, более длительных режимов тепловой обработки после 4-8 час предварительного выдерживания перед тепловой обработкой. Здесь размах варьирования факторов не терпит единых режимов технологии, т.к. в одних случаях они способствуют нарушению (и даже разрушению) структуры формирующегося бетона, а в других неэкономично длительно конструируют ее. Но эти оба случая не отражены в модели, т.к. они не являются переменными. А потому модель не только виртуальна, но и вредна.

Составу – оптимальная технология. Каждому составу бетона отвечает только одна, оптимальная технология: режим приготовления и уплотнения смеси, а также тепловой обработки свежесформованного бетона. Это тем более справедливо, что любые нормативные документы рекомендуют их назначать, в основном, в зависимости от расхода цемента, водоцементного отношения и удобоукладываемости смеси. Поэтому для каждого опыта ПЭ (их 15 или больше) необходимо устанавливать оптимальные режимы технологических переделов. Только в этом случае мы можем считать, что параметры технологии не оказывают влияния на отклик (прочность бетона), а влияют только переменные состава. ЭСМ чаще всего используется для перетряхивания составов, но к технологическим режимам отношение негативное.

Даст ли количество нужное качество. Пересчет проектного состава бетона на фактический потребует 9 кубиков на один опыт, т.е. 135 кубиков для всего плана (из 15-ти опытов). А выбор оптимальной технологии для каждого опыта в приведенном примере потребует 135 шт для отработки режимов приготовления, 135 шт – режимов уплотнения и 135 шт - режимов тепловой обработки. Всего около 540 образцов. Подбор состава бетона заданной марки по методу абсолютных объемов требует от 9 до 27 образцов.

Осторожно – нуль. Вызывает сомнение в правильности выбора количественных уровней факторов, когда они могут непредсказуемо оказать влияние на качество бетона. Так, бетон без добавки качественно отличен от аналогичного с добавкой (например, суперпластификатора в количестве от 0 до 1%). Даже малое количество добавки может резко изменить отклик и значительно раньше, рис 1, или позже, рис 2, запланированного. И тогда факторное пространство первого интервала (рис 1) или второго (рис 2) варьирования не квадрат и не куб, а фактически смещены в ту или иную сторону и не равноценно соседнему факторному пространству.

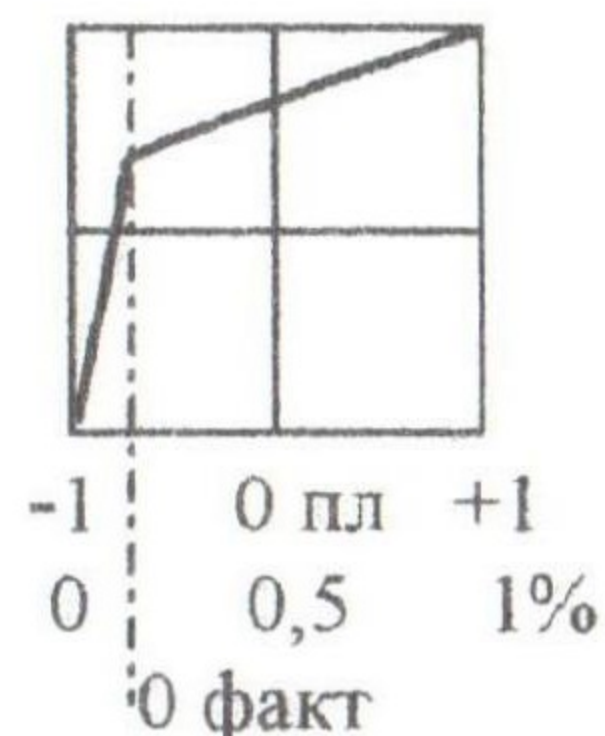


Рис 1

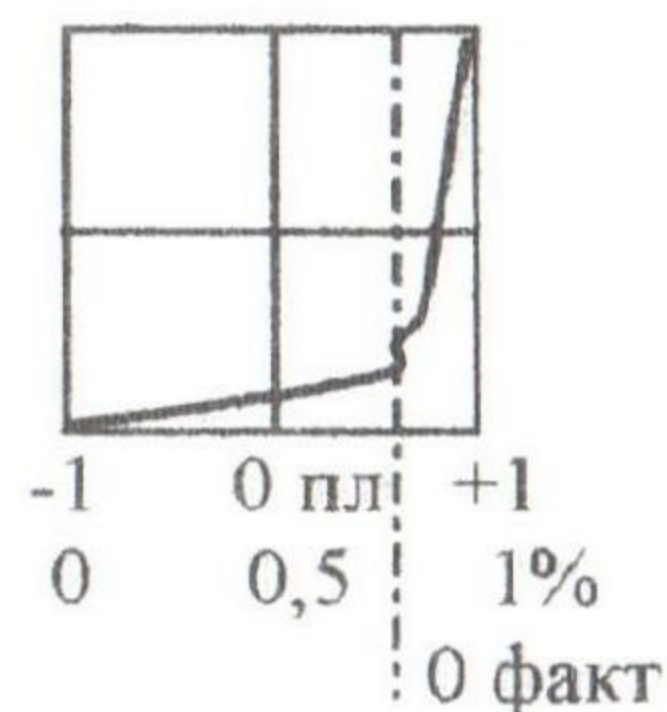


Рис 2

Планируется изменение и подвижности бетонной смеси, например от 0 до 8 см осадки конуса. Но нуль столь растяжимое понятие, что возможен неучтенный переход в область жестких бетонных смесей с $J=5$ или 10 сек, рис 3. И опять факторные пространства двух интервалов варьирования фактически могут быть не равноценными, но по законам ПЭ принимаются равноценными. Как минимум в таких случаях должны быть добавочные эксперименты точно выводящие смесь по подвижности на нуль.

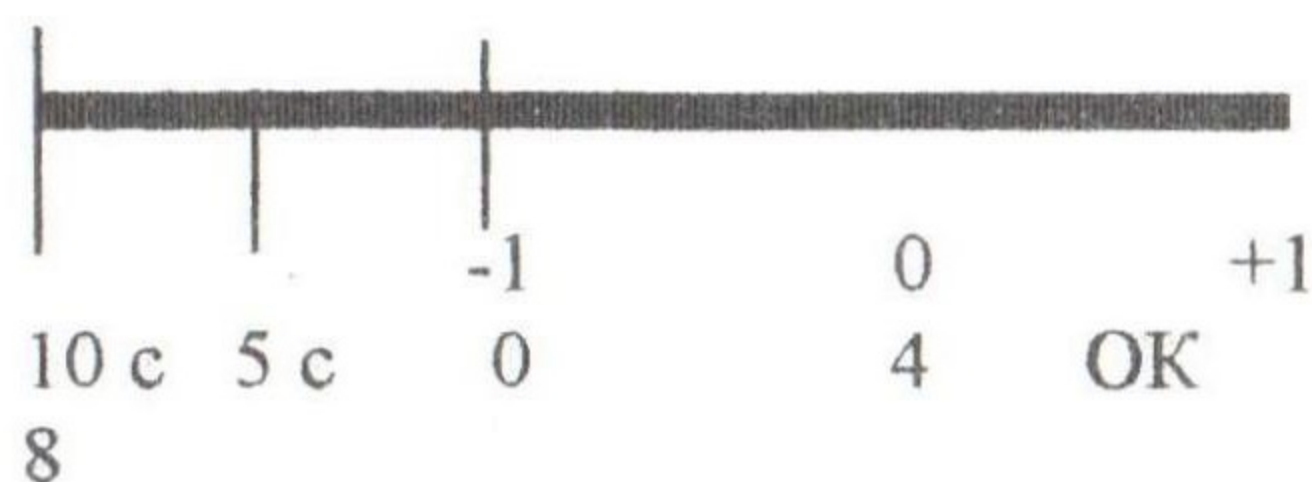


Рис 3

Интерпретация, достоверность результатов, «расслоение» информации, генерация случайных точек, корреляция и многое другое, в том числе и с применением синтезированных планов, всегда получаются прекрасными и удовлетворяющими требованиям ПЭ. Однако с учетом вышеизложенного, всегда с немалым количеством технологических нестыковок, все это делается на результатах виртуальных, далеких от действительности, на полях свойств, напоминающих поля чудес. В ЭСМ статисты слишком далеко ушли от технологов, что уже вредит самому ПЭ. Тенденция использования ПЭ в промышленности строительных материалов с годами резко снижается. Виноваты в этом, от-

стающие от статистов технологи, безоговорочно верящие в то, что им дают статисты.

Есть мнение, что ПЭ нам нужен для того, чтобы «расшатать систему». Если расшатать неизвестное, то это понятно. К примеру, во вселенной надо найти Полярную звезду. Принимаем систему «матрешек», т.е. по 9-ти факторному ПЭ найдем галактику, в которой она находится, затем 5-ти факторный даст созвездие с искомой звездой, а 2-х факторный позволит приблизиться к ней, а найти ее можно только после корректировки виртуальных результатов ПЭ в фактические. Решение задач со многими неизвестными – одно из важнейших достоинств ЭСМ.

В технологии бетона мы имеем стройную, сложившуюся систему закономерностей: постоянство материального баланса, соотношение между мелким и крупным заполнителем, между водой и цементом и т.п. И если в такую систему надо внедрить всего лишь один какой-то неизвестный добавочный материал, то достаточно с учетом материального баланса одну часть материала заменить на другую. Зачем, решая мелкие задачи, расшатывать всю систему и перетряхивать весь состав чтобы получить опять не точные результаты, требующие той корректировки, которая и без ПЭ будет произведена.

Выводы

Изложены проблемы в проектировании состава бетона для монолитного домостроения. Обращено внимание молодых исследователей на необходимость разработки методов проектирования литых, высокопрочных и др. видов бетона.

Литература

1. Баженов Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов. – М.: Стройиздат, 1975. 268 с.
2. Дворкин О.Л. Проектирование составов бетона (основы теории и методологии): Монография: -Ровно.: УДУВГП, 2003. 265 с.
3. Ляшенко Т.В. Поля свойств строительных материалов (концепция, анализ, оптимизация). Дисс. . . д.т.н. ОГАСА, Одесса 2003. 449 с.