

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
И АРХИТЕКТУРЫ

Файз

На правах рукописи

Файзулина Оксана Анатольевна

**ПОВЫШЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ СВОЙСТВ БЕТОНОВ ЗА СЧЕТ
ВВЕДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК**

Специальность 05.23.05 - Строительные материалы и изделия

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ОДЕССА 1995

041
Диссертация является рукописью

Работа выполнена на кафедре
гии строительных материалов"
академии строительства и архитектуры

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00761279 (W)

Научный руководитель - действительный член Академии наук
и Академии строительства Украины,
доктор технических наук,
профессор **ВОЗНЕСЕНСКИЙ В. А.**

Официальные оппоненты - действительный член Академии строи-
тельства Украины
доктор технических наук,
профессор **ВЫРОВОЙ В. Н.**
кандидат технических наук, старший
научный сотрудник **ШАРШУНОВ А. Б.**

Ведущая организация - Открытое акционерное общество по строи-
тельству морских и речных гидросооружений "Черноморгидрострой"

Защита диссертации состоится 24 октября 1995 г. в 14⁰⁰ часов на
заседании специализированного совета Д 05.09.02 Одесской
государственной академии строительства и архитектуры по адресу:
270029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 4, ОГАСиА, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Одес-
ской государственной академии строительства и архитектуры: г.
Одесса, ул. Дидрихсона, 4.

Автореферат разослан 21 сентября 1995 г.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Ученый секретарь

специализированного Совета

канд. техн. наук, доцент

Малахова

Н.А. Малахова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Снижению материалоемкости и увеличению надежности сооружений способствует повышение однородности структуры материала и однородности его свойств в изделиях. Так, повышение однородности бетона по прочности отражается и на результатах расчета конструкций (уменьшение сечений или увеличение несущей способности) и на эффективности их изготовления (снижение уровня средней партионной прочности, и как следствие, уменьшение расхода цемента). Повышение однородности бетонной смеси достигается рациональным регулированием ее состава, параметров приготовления, укладки и т.п. В то же время рекомендаций по управлению однородностью распределения свойств бетона по объему изделий недостаточно, хотя это крайне важно при их формировании в вертикальном положении (что характерно для монолитных тонкостенных конструкций, столбов, кассетного производства), когда неоднородность материала определяется не только случайными воздействиями, но и систематическими (в частности, гравитационными).

Приоритетную роль в управлении свойствами бетона приобретают химические добавки, номенклатура которых постоянно расширяется, в том числе за счет комбинации нескольких веществ. Однако информации о влиянии химических добавок на свойства бетона и однородность их распределения в изделиях не достаточно.

К решению актуальной задачи управления однородностью бетона в вертикально формируемых изделиях с помощью комбинированных добавок целесообразно привлечение концепции направленного формирования пространственно-геометрических полей физических величин, в частности, полей свойств композиционных материалов (по В.А. Вознесенскому).

Цель работы - снижение материалоемкости изделий и конструкций за счет повышения равномерности полей свойств бетона

при оптимальном управлении модификаторами (суперпластификатор и стабилизатор смеси) на основе экспериментально-статистических моделей обобщающих показателей этих полей.

Для достижения цели нужно было решить следующие задачи:

1. На основе литературных данных и предварительных опытов обосновать рабочую гипотезу и комплекс методов исследования полей свойств бетона в столбчатых элементах.
2. Изготовить по оптимальным планам эксперимента из различных бетонов при разных способах бетонирования столбчатые элементы, фрагменты которых испытать для получения эмпирической информации о полях свойств.
3. Проанализировать различные способы описания поля свойств бетона и комплексы его обобщающих показателей.
4. Построить экспериментально-статистические модели (ЭС-модели) влияния состава комплексной добавки на обобщающие показатели поля свойств, выделить среди них эффективные критерии неоднородности поля и предложить рекомендации по их использованию при создании новых технологий.
5. Определить рациональные соотношения между суперпластификатором и стабилизатором для минимизации случайной и систематической составляющих поля свойств различных бетонов.
6. Провести опытно-промышленную проверку комплексной добавки (в условиях монолитного строительства).

Работа выполнялась в рамках программы ГКНТ Украины "Ресурсосбережение" (подтема 5.52/100) и темы "Разработка программно-методического комплекса для использования обобщающих показателей полей свойств в компьютерном материаловедении" (план МО Украины):

Основные методы научного исследования. При выборе компонентов модификатора применены ротационная вискозиметрия и пластометрия. Для изучения полей свойств изготовлены и пофрагментно испытаны столбчатые образцы, у которых состав бетона варьировался по оптимальным планам эксперимента. Для обобщения опытных данных использован комплекс методов построения и анализа моделей, реализованный в системе "COMPEX" (ОИСИ-1991).

Научная новизна. Подтверждена гипотеза о том, что в неоднородном пространственно-геометрическом поле свойств бетона целесообразно выделять случайную и систематическую составляющие, причем их минимизация может требовать различных рецептурно-технологических воздействий. Проанализировано три способа описания (статистическими оценками, или эпюрой, или случайной и систематической составляющими) и более 20 критериев неоднородности линейного поля. Построены комплексы ЭС-моделей, описывающих влияние на эти критерии модификатора, способа бетонирования, количества легкого заполнителя и др. Анализ моделей показал эффективность критериев, связанных с выделением систематической и случайной составляющих поля свойств.

На основе ЭС-моделей определено, что рациональное соотношение между суперпластификатором и стабилизатором зависит от состава бетона (в т.ч. от содержания керамзитового гравия), от способа бетонирования и, что весьма существенно, от того случайную или/и систематическую составляющую поля свойств необходимо минимизировать в данном изделии или блоке монолитного сооружения.

Практическая ценность работы. В диссертации получены рекомендации по выбору состава обычного бетона и керамзитобетона с модификаторами для монолитных сооружений. Они использованы при возведении объектов "Монолитстрой" в г. Одессе, что обеспечило, в частности, стабильное повышение однородности бетона.

улучшение качества поверхности стен, экономию до 7% цемента.

На защиту выносятся:

- рабочая гипотеза о целесообразности характеристики поля свойств бетона случайной и систематической составляющими и блок-схема исследований, направленных на увеличение однородности этого поля за счет уменьшения каждой из них;
- три способа описания линейного поля свойств бетона в вертикально формуемых элементах и номенклатура обобщающих показателей - критериев неоднородности поля свойств;
- комплексы ЭС-моделей, описывающих влияние пластифицирующе-стабилизирующих добавок на критерии неравномерности поля свойств обычного бетона при воздушном и подводном бетонировании, а также керамзитобетона при обычном бетонировании;
- учитывающая систематическую и случайную составляющие методика выбора рациональных составов бетона и соотношений между ингредиентами модификатора, предназначенная для использования при разработке новых технологий изготовления ответственных изделий и возведения сооружений;
- соотношения между суперпластификатором и стабилизатором, полученные с использованием предложенной методики, и результаты их опытно-промышленной проверки при возведении монолитных жилых зданий в г. Одессе.

Апробация работы: Основные положения диссертации докладывались на международных и республиканских конференциях и семинарах по моделированию и оптимизации материалов (Одесса 1992, 1993, 1994) по их технологии и ресурсосбережению (С.-Петербург-1992, Белгород - 1993).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 работы.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и выводов; ее объем - 110 м.п. страниц текста, 10 таблиц 27 рисунков, список литературы (172 источников) и приложения.

Автор выражает благодарность за помощь в проведении экспериментальных исследований и технологической интерпретации их результатов доц. кафедры ПАТСМ к.т.н. С.В.Ковалю.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Одна из тенденций технологии производства конструкций-интенсивное использование высокоподвижных и литых смесей, что позволяет уменьшить ресурсоемкость. К особенностям таких смесей относится их склонность к сегрегации (расслоению), что ведет к снижению однородности бетона и, следовательно, к ухудшению эксплуатационных параметров сооружений. Проблема учета и повышения однородности бетона известна более полувека; последние годы разработан ряд эффективных методов ее решения, в том числе управление с использованием математико-статистических методов (В. А. Вознесенский, М. Б. Краковский, Ю.Г. Хаютин, М. И. Бруссер, В. А. Дорф, В. А. Пирогов и др.); информационной базой которых служат результаты контроля качества бетона при его производстве и в готовых сооружениях, в том числе неразрушающими методами. Несмотря на накопленный опыт, проблема актуальна и не носит локальный характер (на конференциях она обсуждается в докладах из США, Японии, Бельгии, Чехии и др.)

Технологичным способом регулирования свойств смесей и бетонов - введение химических добавок. Разжижение смеси за счет суперпластификаторов и достигаемое при этом уменьшение их водоотделения являлось предметом специальных исследований (В. Г. Батраков, А. И. Вовк, Л. И. Дворкин, С. В. Коваль, М. Ш. Файнер, В. Р. Фаликман и др.). В ряде случаев положительный эффект усиливался при комплексном модифицировании смеси, т.е. при совмещении

суперпластификатора с добавками-стабилизаторами, наполнителем и др. При обеспечении однородности структуры и свойств бетона в изделии задача в самом общем виде может быть сведена к поиску условий получения нулевой скорости движения жидкости с вязкостью μ в зернистом слое. Исходя из гидродинамических уравнений следуют направления работ по уменьшению неоднородности изделий - снижение вязкости модифицированного цементного теста и регулирование структуры каркаса, образуемого заполнителями.

Под полем свойств композита понимается (В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко) совокупность значений показателя этого свойства R_j (предела прочности, плотности и т. п.) во всех точках j -мерного пространства, образованного как геометрическими факторами (t_1, t_2, t_3), так и рецептурно-технологическими, эксплуатационными и другими факторами (X_i). В данном исследовании рассматриваются, главным образом, пространственно-геометрические поля свойств бетонов $R_j(t)$, изменяемые с помощью факторов X_i . Выполненные ранее исследования полей свойств ячеистого бетона (В. Я. Керш) и набрызгбетона (Л. Г. Парамонова) показали перспективность нового подхода как для общего материаловедения, так и для технологии конкретных конструкций.

При изготовлении конструкций (особенно тонкостенных и работающих без резервирования) задачи обеспечения однородности полей свойств $R(I) = \text{const}$ непосредственно связаны с ресурсосбережением. Если в u -том элементе уровень свойства меньше норматива $R_{\text{норм}}$, то может отказать вся конструкция, несмотря на выполнение требований остальными элементами на формирование которых затрачена часть ресурса. Возможны два подхода к неравномерному полю свойств $R(I)$. Во-первых, числовые оценки неравномерности можно учесть при расчете (СНИП 2.03.01-84), изготовлении и эксплуатации конструкции. Во-вторых, можно улучшать однород-

ность за счет изменения состава смеси, технологии приготовления и бетонирования конструкций и т.п. При этом нормами предусмотрена возможность при хорошей однородности бетона снижать расход цемента.

Принята следующая рабочая гипотеза. Поле свойств в вертикально изготавливаемых конструкциях (колонны, стенки и т.п.) должно иметь две составляющие: систематическую (обусловленную в частности, гравитационными силами) и случайную. Уменьшение каждой из них может потребовать различных рецептурно-технологических воздействий. Поскольку для управления полями свойств бетонов (особенно для монолитного домостроения) целесообразно применять многокомпонентные добавки, содержащие пластификаторы и стабилизаторы, то соотношение между ингредиентами может меняться в зависимости от соотношения между составляющими поля.

В соответствии с целью и рабочей гипотезой была построена блок-схема исследования, показанная на рис.1.

Столбчатые элементы (диаметр 150 мм) изготавливались на специальной установке, позволяющей вести как обычное, так и подводное бетонирование (по методу "вертикального перемещения трубы") в специальных формах высотой 900 мм с задвижками-ножами для разделения на 6 слоев толщиной 150 мм по высоте столба; образцы-цилиндры испытывали после 3 суток нормального твердения. Керамзитобетон укладывался на той же установке в формы, и подвергался как и тяжелый бетон (в течении 40 с) вибрационному уплотнению. После 3 суток твердения из столба выпиливались 5 образцов высотой 150 мм. Использовался Ольшанский цемент М400, песок $M_{кр} = 1.8$, щебень 5-20 мм, а также керамзитовый гравий 5-20 мм Одесского завода с объемной массой 600 кг/м^3 .

Коленированная добавка состояла из стабилизатора и суперпластификатора С-3, который вводился для снижения водо-

потребности смеси и компенсации возможного уменьшения прочности бетона за счет введения стабилизатора. Для выбора первого ингредиента выполнены сравнительные испытания трех предложенных НИИЖБ стабилизаторов: эфира целлюлозы (ЭЦ), оксидилметилцеллюлозы и метилоксипропилцеллюлозы. Эффективная вязкость водных растворов комбинированных добавок и цементных паст (с водоудержанием, обеспечивающим распыл конуса на встряхивающем столике 160 мм) оценивалась на ротационном вискозиметре, а пластическая прочность паст на пластометре Ребиндера.

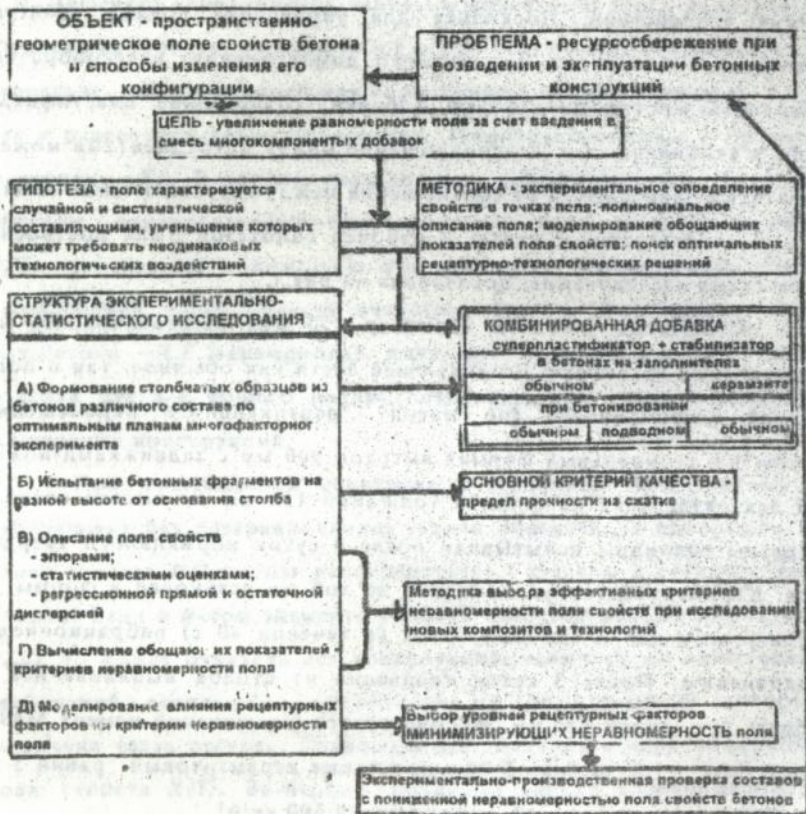


Рис. 1. Блок-схем. исследований

Кроме реологических свойств смесей оценивалась прочность равноподвижных растворов ($P:C=1:2.5$) в возрасте от 3 до 9 суток и марочная прочность бетонов. Установлено, что содержание СТ (от массы цемента) для обычных бетонов до 0.15-0.20%, а для керамзитобетона - до 0.25-0.30%. С учетом технико-экономических условий производства в Украине для управления полями свойств бетона в столбчатых элементах выбрана добавка, в состав которой могли входить С-3 и ЭЦ.

Эксперименты проводились с равноподвижными ($OK=17\pm 2$ см) смесями. Планы эксперимента предусматривали исследование бездобавочных (эталонных) составов. Эксперименты с обычным бетоном (как при воздушном, так и при подводном бетонировании) проводились по плану B_2 при варьировании количества С-3 $X_1=0.4\pm 0.4\%$ и ЭЦ $X_2=0.08\pm 0.08\%$, а с керамзитобетоном - по плану B_3 при С-3 $X_1=0.4\pm 0.4\%$ и ЭЦ $X_2=0.15\pm 0.15\%$, при изменении содержания керамзитового гравия $X_3=370\pm 70$ кг/м³. Основной критерий оценки и оптимизации линейного поля - предел прочности на сжатие в возрасте 3 суток (марочная прочность оценивалась при испытании стандартных кубов). Все расчеты выполнены на IBM в системе "COMPEX" (ОИСИ-91), для которой соискатель составил ряд дополнительных программ.

Результаты эксперимента позволили описать поля свойств бетона и оценить три группы обобщающих показателей, основанных, во-первых, на анализе поля как случайного множества, во-вторых, на анализе эпюры свойств по высоте столба в-третьих, на разделении систематической и случайной составляющих поля. На рис.2. показано в виде диаграммы из 6 прямоугольников эмпирическое линейное поле предела прочности R_c обычного бетона по высоте столба H , полученное для бездобавочной эталонной смеси. Из-за седиментационных процессов в литой смеси прочность у подошвы столба

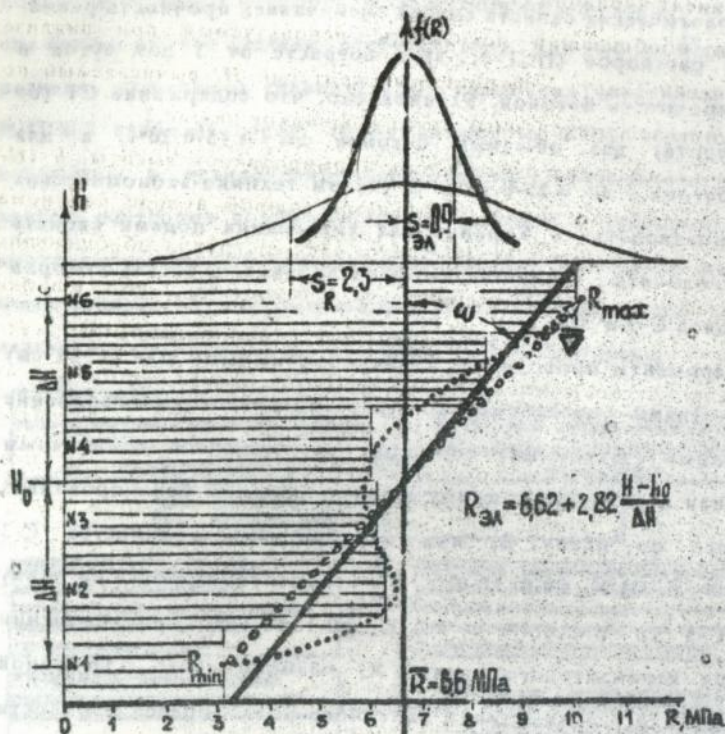


Рис. 2. Экспериментальные данные о распределении предела прочности эталонного бездобавочного бетона по высоте столба, описание поля свойства нелинейной и линейной эпюрами и его обобщающие показатели (объяснение в тексте)

в 3.2 раза меньше, чем в верхнем элементе; - такое изделие ненадежно и имеет значительные возможности для ресурсосбережения. Общепринятый коэффициент расслоения смеси может быть оценен как отношение средних прочностей трех верхних элементов и трех нижних, т.е. $K_p = 1.55$, что существенно выше допустимого. Если рассматривать R_U вне зависимости от положения вдоль H как случайное множество, то из этого предположения (обычно используемого в п. 1.1.1) следуют такие обобщающие показатели как средняя прочность $\bar{R} = 6.6 \text{ МПа}$, среднеквадратичное отклонение ($S_R = 2.3 \text{ МПа}$)

и коэффициент вариации ($V_R=34,8\%$). Предложено включить в анализ четвертый обобщающий показатель, используемый при анализе географических карт - энтропийный критерий H , вычисляемый по соотношению заштрихованных прямоугольников на рис.2.

Эмпирическая диаграмма вдоль нормированной высоты $h=(H-H_0)/\Delta H$ достаточно точно описывается эмпирой в виде полинома $R=5,83+5,80h^2+3,44h^3-5,13h^4$. Из эмпире следует группа обобщающих показателей, которые условно (с точностью до ошибки аппроксимации) можно назвать детерминированными: это экстремальные показатели $R_{max}=9,9$ МПа и $R_{min}=3,06$ МПа (и их координаты $h_{max}=+1$, $h_{min}=-1$), медианное среднее $R_m=6,50$ МПа, абсолютный $\Delta=6,88$ МПа и относительный $\beta=3,27$ перепады, а также верхняя $\gamma_{max}=R_{max}/\bar{R}=1,51$ и нижняя $\gamma_{min}=1,51$ границы поля и относительный диапазон $\chi=\gamma_{max}-\gamma_{min}=1,05$ изменения свойства. Критерии Δ , β , $\gamma_{max(min)}$ и χ характеризуют чувствительность свойства к тем, главным образом, массообменным и гидромеханическим процессам, которые вызывают неравномерность поля свойств в вертикально бетоннуемом столбчатом изделии.

Критериями интенсивности изменения свойства R служат градиенты (которые могут анализировать как знакпеременные величины и по модулю этих величин); это усредненный абсолютный $\bar{V}=\Delta/\Delta h=3,44$ МПа и относительный $\delta(\bar{V})=V/\bar{R}=52\%$ градиенты, а также максимальные (локальные) градиенты поля по эмпире-абсолютный $V_{max}=dR/dh=19,2$ МПа и относительный $\delta\{V_{max}\}=291\%$.

Новая группа обобщающих показателей образована для разделения систематической и случайной составляющих поля $R(h)$. Первая выделяется, если принять эмпире линейной (эл) на рис.2 $a_0=6,62$ МПа, $a_1=2,82$ МПа; где a_0 тоже, что и \bar{R} , а a_1 - усредненный градиент, проходящий под углом ω к оси столба. Случайная составляющая определяется при расчете среднеквадратичного отклонения $S_{11}=\sqrt{S_{11}^2}$.

характеризующего неадекватность описания эпюры прямой или случайные колебания R_U вдоль линии $R_{1,2}$ (на рис.2. $S_{1,2}=0.9$ МПа). Еще два критерия неоднородности поля $R(h)$ получаются как относительные величины $\delta\{a\}=a_1/a_0=42.6\%$ и $V\{a\}=S_{1,2}/a_0=13.6\%$ (ср с $V_R=34.8\%$). Для всех показателей построены по плану В₂ (информация по рис.2. соответствует точке $X_1=X_2=-1$) более 50 адекватных исполненных биквадратных ЭСМ со всеми значимыми коэффициентами. Так, для средней прочности R [МПа] при обычном бетонировании получена модель

$$R = 5.58 - 0.59 X_1 - 0.22 X_1^2 - 0.87 X_1 X_2 - 0.29 X_1^2 X_2^2 + 0.40 X_2 + 1.17 X_2^2 - 1.06 X_1 X_2^2 \quad (1)$$

Для каждой такой ЭСМ построены диаграммы (рис.3.а), найдены экстремальные значения ($\bar{R}_{max}=9.16$ МПа при $X_1=-1, X_2=+1$ и $\bar{R}_{min}=4.11$ МПа при $X_1=X_2=-1$) и соединяющие их векторы, вдоль которых критерии неоднородности бетона изменяются наиболее интенсивно. Значения $R_{max(min)}$ использованы не только при материаловедческом анализе ЭСМ, но при дискриминации обобщающих показателей по критерию "полноты" $t_{min}^{max}=(Y^{max}-Y^{min})/S(Y)$; который для (1) равен 79; чем мера полноты выше, тем эффективнее критерий неоднородности поля (если его значение менее 6, то обобщающий показатель классифицировался как не пригодный для анализа).

При использовании литых смесей для обычного бетонирования наименее прочным оказывается элемент, расположенный у дна формы. Диаграмма изменения R_{min} отображена на рис.3.а пунктиром; она показывает существенное положительное влияние комплексной добавки на этот важнейший критерий. При совместном пропорциональном увеличении X_1 и X_2 снижается \bar{R} от 6.6 до 4.1 МПа, поскольку введение суперпластификатора не полностью компенсирует влияние эфира целлюлозы и на повышение вязкости жидкой фазы (водопотребность возрастает на 10 л/м³) и на блокирование процессов

гидратации цемента. В этих же условиях R_{min} изменяется экстремально, поэтому в подобласти несколько превышающей средние концентрации ($0.08\% < ЭЦ < 0.16\%$ и $0.4 < С-3 < 0.8\%$) и должны приниматься решения, обусловленные увеличением прочности элементов у основания столба. За счет стабилизирующего действия ЭЦ в этих элементах формируется структура бетона, непересыщенная заполнителем, хотя процессы гидратации здесь задерживаются, также как и во всем объеме бетона. Положительная роль комбинированной добавки подтверждается при изопараметрическом анализе (рис.3.б) при движении от точки М (нет стабилизатора) к N вдоль линии $\bar{R}=6\text{МПа}$ (рис.3.а): R_{min} возрастает в 2.5 раза, в то время как R_{max} снижается лишь на 20%, что в целом уменьшает перепад прочности по высоте столба почти в 3 раза. Изолинии обычно используемого критерия-коэффициента расслоения K_r (рис.3.в), а также направление вектора, указывают на целесообразность введения стабилизатора, а подобласть $K_r < 1.3$ подтверждает те предположения о рациональном составе добавки, которые следуют из анализа изолиний \bar{R} и R_{min} на рис.3.а:

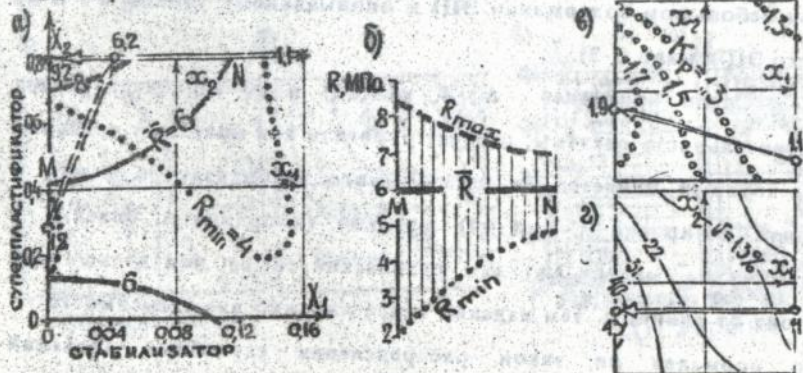


Рис.3. Изменение под влиянием комплексной добавки параметров поля прочности бетона в столбчатом элементе: а - изолинии средней (сплошная) и минимальной (пунктир) прочности, б - изопараметрический анализ при $\bar{R}=6\text{МПа}$, в-г - изолинии коэффициентов расслоения K_r и вариации V_a

Хотя этот критерий имеет низкий уровень полноты описания ($t_{min}^{max}=6$), но он остается полезным для лабораторий, неоснащенных приборами неразрушающего контроля.

Другой традиционно используемый статистический критерий — это коэффициент вариации V_R (рис.3.г). При удовлетворительной полноте описания ($t_{min}^{max}=9$) он достаточно чувствителен к изменению состава комплексной добавки. При постоянной дозировке С-3 0.25% с ростом концентрации СТ V_R уменьшается от 40 до 11%.

Все критерии неоднородности поля указывают на опасность применения бетона без добавки стабилизатора, если содержание С-3 в нем 0.1...0.4%. Это связано с тем, что в этом диапазоне (по данным С.В.Ковалея и С.В.Савченко) наблюдается усиленное воздухововлечение и цементное тесто постоянного состава наиболее не стационарно, так как имеет наибольший размах колебаний вязкости и пластической прочности в коагуляционно-кристаллизационный период. Перспективные составы (судя по рис.3.) находятся вдоль коридора, проходящего от максимального уровня $R_{max}=6.2$ (много С-3 при небольшом содержании ЭЦ) к минимальному уровню V_R и K_p (много ЭЦ и мало С-3).

Среди критериев Δ , \mathcal{B} , $\gamma_{max(min)}$ и χ , характеризующих чувствительность системы, следует отметить как полезный критерий γ_{min} , который меняется от 0.85 (много стабилизатора $\chi_1=+1$ и средняя дозировка С-3 $\chi_2=0$) до 0.36 (координаты близкие к минимуму R_{min} на рис.3.а). Его физический смысл: чем дальше γ_{min} отстоит от единицы, тем изделие менее надежно вне зависимости от того нормален ли закон распределения случайных значений прочности бетона или нет; в этом его преимущество перед коэффициентом вариации V_R . Все критерии интенсивности изменения R в поле (градиенты и др.), имея высокую меру описания (более 15), указывают на целесообразность введения в состав комплексной

добавки ЭЦ в концентрациях близких к граничным совместно со средними концентрациями С-3. При этом по знакопеременным критериям не исключается возможность получения равномерного поля свойств по высоте столба. Полученные при анализе первых двух групп показателей результаты косвенно подтвердили гипотезу о целесообразности выделения случайной и систематической составляющих поля. На рис. 4. а-б показаны изолинии относительного наклона эпюры поля свойств $\delta\{a\}$ и коэффициента вариации прочности вдоль линии эпюры $V\{a\}$. Они отличаются от диаграмм других критериев и прямо подтверждают основную рабочую гипотезу - для минимизации систематической составляющей поля требуется вводить повышенное количество стабилизатора совместно с С-3 в широком диапазоне, а для минимизации случайной составляющей - меньшую концентрацию ЭЦ совместно с суперпластификатором в узком диапазоне повышенных концентраций. Следует отметить, что минимум R_{min} (рис. 3. а) совпадает с максимумом $\delta\{a\}=+54^\circ$, а максимум R_{min} близко к минимальному $V\{a\}<5\%$.

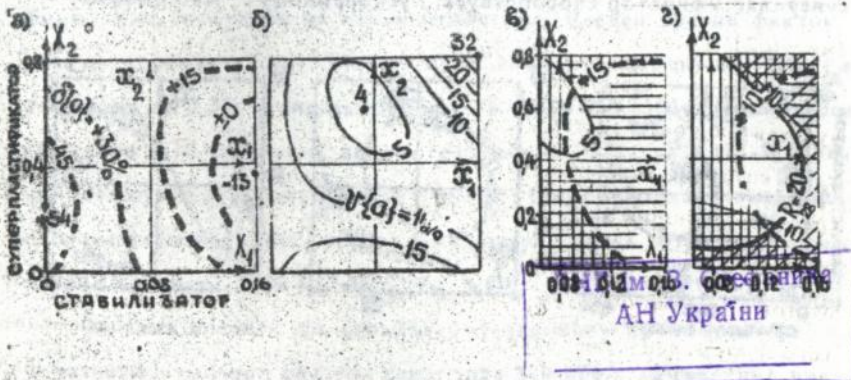


Рис. 4. Изолинии оценок систематической (а - уклон линейной эпюры %) и случайной (б - остаточная вариация, %) составляющих поля прочности и их использование для поиска областей допустимых решений при различных приоритетах (в - уменьшение случайной составляющей, г - уменьшение наклона эпюры)

Критерии оценивающие систематическую и случайную составляющие поля прочности целесообразно совместно с величиной $\bar{R}=20\text{ МПа}$ использовать для выбора состава комплексной добавки. На рис. 4 в-г показаны области, в которых сумма $S\{a\}+V\{a\}$ не более 20° . В первом варианте приоритет минимизации отдал $\delta\{a\}$ (она равна 1/4 суммы) и допустимые решения ограничены малой областью вокруг $X_1=0.10\pm 0.02^\circ$ и $X_2=0.55\pm 0.10^\circ$; во втором обе составляющие равны между собой и допустимые решения ограничены большей областью вокруг СТ 0.12 ± 0.2 и С-3 $0.4\pm 0.2^\circ$.

Для бетонирования литыми смесями под водой комплексная добавка в диапазоне изменения С-3 до 0.8° а эфира целлюлозы до 0.16° оказалась неэффективной. Смесь ингредиентов по всем критериям дает результаты худшие, чем действие индивидуальной добавки, введенной в оптимальной концентрации (рис.5.). Наименьшая минимальная по столбу прочность бетона R_{min} находится (рис.3.а, пунктир) в центральной области, где уровни концентрации ингредиентов средние. По-видимому, в водной среде суперпластификатор способствует ускоренному массообмену

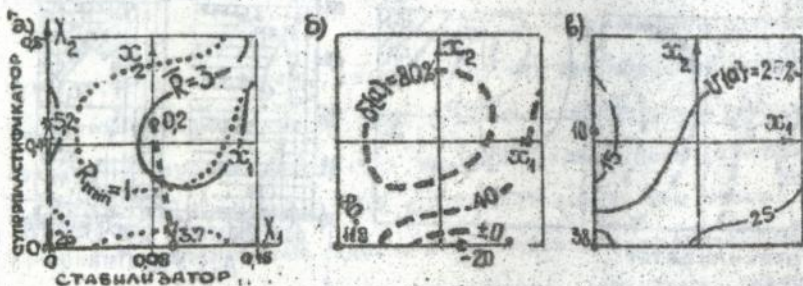


Рис.5. Диаграммы критериев поля прочнос. и бетона при подводном бетонировании: а - средней (сплошная) и минимальной (пунктирная) прочности, б - систематической, в - случайной составляющей поля

между межзерновым пространством и водной средой, в результате чего часть цементных частиц выносится из каркаса, а гидратация остальных блокируется стабилизатором, доля которого по отношению к ним возрастает. В пользу такого объяснения говорит и направление вектора на рис.3.а - наибольшая $R_{min}=3.7$ МПа (что в 1.5 раза лучше эталона) наблюдается при отсутствии С-3 и введении 0.1% ЭЦ. Повышение вязкости жидкой фазы, содержащей ЭЦ, препятствует прониканию воды в межзерновое пространство каркаса, а, следовательно, нарушению его связности. Это косвенно подтверждается тем, что именно в этой подобласти факторного пространства отношение минимальных прочностей бетона при подводном (рис.5.а) и обычном (рис.3.а) бетонировании превышает 0.8, тогда как в большей части факторного пространства оно менее 0.4. Диаграмма $\delta(a)$ (рис.5.6) свидетельствует о том, что именно при таком содержании ЭЦ эпюра становится практически равномерной.

Методика проверена сначала в лабораторных, а потом в производственных условиях "Монолитстрой" г. Одессы для вертикально формуемых элементов из керамзитобетона. Введен третий фактор - расход керамзита $X_3=350\pm 70$ кг/м³; диапазон изменения ЭЦ был расширен до 0.3% от массы цемента ($C=350$ кг/м³). При равной подвижности ($OK=17\pm 1$ см) водопотребность составляла 225-325 л/м³; наибольшую водопотребность имела бездобавочная смесь при расходе керамзита 300 кг/м³, наименьшую - смесь, отличающаяся от первой добавкой 0.8% С-3.

Анализ средней по столбчатому элементу прочности (рис.6.а) показывает, что при расходе керамзита 370-400 кг/м³ (верхний предел для смеси без стабилизатора) формируется наилучшая структура бетона и достигается наибольший уровень \bar{R} вне зависимости от концентрации С-3; в то же время абсолютный максимум средней

прочности $R=6.3$ МПа достигается при введении 0.8% суперпластификатора без стабилизатора. Поскольку минимум \bar{R} (точка М на рис.6.а) формируется при 0.28% С-3 и 0.14% ЭЦ, то можно говорить о неэффективности совмещения ингредиентов комплексной добавки, подобном наблюдаемому при подтоном бетонировании.

Существенно отличное заключение о роли добавки формируется при анализе минимальной прочности керамзитобетона в столбчатом изделии (она наблюдается у самого верхнего элемента т.е. у бетона, пере сыщенного керамзитовым гравием). Если минимум $R_{min}=1.6$ МПа остается в точке М (рис.6.а), т.е. при малых концентрациях неэффективность совмещения сохраняется, то максимум R_{min} (а это важнейшая для повышения качества изделия характеристика) перемещается в точку N. Она соответствует, с одной стороны, оптимальному расходу керамзита, а с другой - комплексной добавке, в которой и суперпластификатор и стабилизатор находятся на верхних уровнях. В точке N минимальная (5.6 МПа) и средняя (5.7 МПа) прочности по столбу совпадают; градиенты прочности стремятся к нулю; поле свойств бетона становится равномерным.

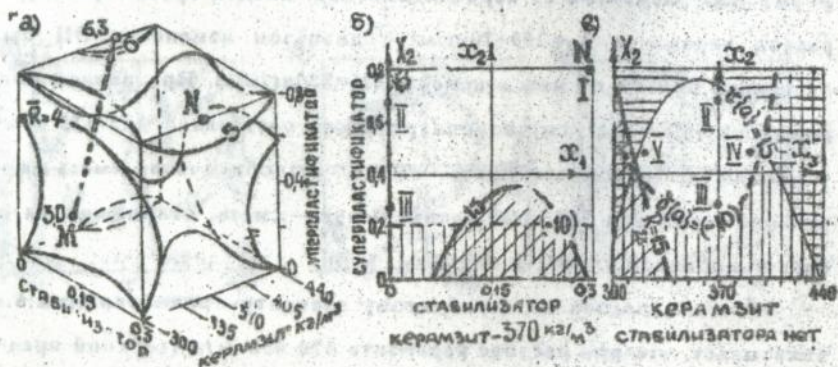


Рис.6. Трехфакторная диаграмма средней прочности керамзитобетона (а) и два ее сечения (б - при основном уровне расхода керамзита, в - при нижнем уровне концентрации стабилизатора) и координаты пяти рациональных составов.

Как следует из диаграмм на рис.6.б-в, достаточно однородное поле ($|\delta\{a\}| < 10\%$ и $V\{a\} < 15\%$) может быть сформировано только при рациональном насыщении бетонной смеси керамзитом (330-390 кг/м³). При этом систематическая составляющая уменьшается с ростом концентрации ЭЦ, а случайная уменьшается при оптимальном содержании С-3.

В свободной от ограничений подобласти на рис.6 выбраны 5 составов, предложенных для производственной проверки в "Монолитстрой" г. Одессы. В таблице приведены для этих составов данные о свойствах керамзитобетона. Составы I-IV имеют преимущество по тем или иным критериям, причем все они находятся в пределах допустимых нормативов (для V - $\gamma < 1500$ кг/м³).

Таблица пяти рациональных составов керамзитобетона с повышенной равномерностью поля свойств

№ состава	Варьируемые факторы			плотность				прочность	
	ЭЦ, %	С-3, %	Керамзит кг/м ³	R ₂₈ МПа	R ₁ МПа	$\delta\{a\}$ %	V{a} %	γ кг/м ³	V{ γ } %
I	0.30	0.80	370	17.7	5.7	0	5	1362	4.0
II	нет	0.68	370	18.5	5.6	7	15	1469	4.6
III	нет	0.28	370	17.3	4.7	9	11	1378	4.6
IV	нет	0.54	390	18.2	5.0	9	14	1460	4.7
V	нет	0.54	320	15.6	4.2	7	15	1533	5.4

Для производственной проверки и внедрения лаборатория Монолитстроя приняла состав III, в котором для уменьшения γ часть кварцевого песка была заменена на керамзитовый, что (как выяснилось при испытании столбчатого образца) несколько снизило и коэффициенты вариации свойств керамзитобетона.

Рациональные составы керамзитобетона, выбранные по рекомендациям, основанным на результатах диссертационных исследований, использованы при бетонировании возводимых Монолитстроем жилых зданий в г. Одессе. Они используются в качестве базовых на объектах "Монолитстроя", что при экономии до 7% цемента обеспечивает улучшение формовости бетона, получение однородных смесей с коэффициентом расслоения менее 6%, повышение теплозащитных характеристик и улучшение качества поверхности стен.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.

1. При оптимальном управлении составом комплексного модификатора, включающего суперпластификатор (С-3) и стабилизатор (эфир целлюлозы), достигается повышение равномерности пространственно-геометрических полей свойств бетонов, что ведет к снижению материалоемкости строительных изделий и конструкций, а также к улучшению их эксплуатационных показателей.

2. В поле свойств целесообразно выделять случайную и систематическую составляющие; минимизация каждой из них для повышения однородности поля свойств может требовать различных рецептурно-технологических воздействий.

3. Анализ трех способов описания линейного поля свойств и более 20 критериев его неоднородности, показал, что наиболее эффективны при разработке новых технологий критерии, связанные с выделением систематической и случайной составляющих.

4. Построены комплексы ЭС-моделей, описывающих изменение обобщающих показателей линейных полей свойств бетонов в зависимости от состава модификатора, способа бетонирования, количества заполнителя и т.д. На их основе оценена роль этих технологических факторов и отобраны критерии, эффективные как со статистических, так и материаловедческих позиций.

5. Установлено, что рациональное соотношение между суперпластификатором и стабилизатором смеси зависит не только от состава бетона и способа бетонирования, но и от приоритета в уменьшении случайной или систематической составляющих поля свойств в конкретном изделии или блоке монолитного сооружения. При этом тот или иной ингредиент может быть полностью исключен из состава модификатора.

6. Неравномерность поля свойств керамзитобетона с нерационально сформированным каркасом плохо исправляется с

помощью модификаторов; для рациональной гранулометрии заполнителя оптимизация состава добавки позволяет уменьшить систематическую составляющую с 13 до 1%, а случайную - с 10-23% до 1%, и получить равномерное линейное поле свойств.

7. Проверка в производственных условиях, предложенных составов керам зитобетона, показала как целесообразность управления полями свойств на основе ЭС-моделей, так и технико-экономическую эффективность этих составов, улучшающих качество монолитного бетона возводимых жилых зданий.

Основное содержание работы изложено в публикациях:

1. Сравнительный анализ критериев неоднородности пространственно-геометрических полей свойств композитов в тонко-стенных конструкциях /В.А.Вознесенский, С.В.Коваль, Т.В.Ляшенко, О.А.Файзулина//Ресурсосберегающие решения в технологии строительных материалов и конструкций: Сб.ст. -Одесса, 1992.-С.3-12.

2. Компьютерный анализ полей однородности армированного набрызгбетона для повышения его долговечности /В.А.Вознесенский, Т.В.Ляшенко, Л.Г.Парамонова, О.А.Файзулина //Повышение долговечности и эффективности работы конструкций сельскохозяйственных зданий и сооружений: Мат-лы междунаро. конф. - Челябинск, 1992. -С.39-41.

3. В.А.Вознесенский, Т.В.Ляшенко, О.А.Файзулина. Компьютерный анализ эффективности управления пространственными полями свойств композиционного материала //Ресурсо-сберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций: Тез. междунаро. конф. -Ч.5-Белгород, 1993. - С.11-12.

4. О.А.Файзулина. Целенаправленное формирование пространственно-геометрического поля свойств композита//Анализ и оптимизация грубогетерогенных композиционных материалов: Тез. междунаро. сем. -Одесса, 1993. -С.34.

ФАЙЗУЛІНА О.А. Підвищення рівномірності просторово-геометричних полів властивостей бетонів за рахунок введення хімічних добавок

Дисертація у вигляді рукописи на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.23.05 - Будівельні матеріали і виробн. Одеська державна академія будівництва та архітектури. Одеса, 1995.

Дисертація містить результати теоретичних та експериментальних досліджень по підвищенню однорідності властивостей звичайних бетонів і керамзитобетонів в просторі вертикально формованих виробів і елементів споруд. Проаналізовані три способи описування одномірного поля властивостей бетону і різнотипові критерії неоднорідності такого поля. Підтверджена гіпотеза о доцільності характеристики поля випадковою і систематичною складовою. Побудовані комплекси експериментально-статистичних моделей, які описують вплив пластифікуючи-стабілізуючих добавок на критерії неоднорідності полів міцності звичайного бетону (при повітряному та підводному бетонуванні) і керамзитобетону (при звичайному формуванні). Знайдені раціональні склади бетону та співвідношення між суперпластифікатором і стабілізатором, які перевірені при зведенні монолітних житлових будинків.

Ключові слова: бетон, міцність, бетонування вертикальних елементів, просторове поле властивостей, критерії неоднорідності поля, хімічні добавки-регулятори, суперпластифікатор, стабілізатор.

FAYZULINA O.A. Improving the uniformity of geometrical space fields of concrete properties by introducing chemical additives.

The thesis for candidate of technical science degree, speciality 05.23.05 - building materials and products. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, 1995.

The author defends the results of theoretical and experimental studies to improve the uniformity of ordinary and claydite concrete properties in the space of vertically formed products and elements of construction. Three ways to describe one dimensional fields of concrete properties and various criteria of these fields non-uniformity have been analysed. Confirmed has been the hypothesis for expedience of characterizing the fields by its random and systematic components. The complexes of experimental-statistical models describing the influence of plasticizing-stabilizing additives on non-uniformity criteria of strength fields for ordinary concrete (with air and underwater concreting) and for claydite concrete (with customary forming) have been built. Found have been rational compositions of the concrete and superplasticizer-stabilizer ratios that have been tried when building monolithic dwelling houses.

Подп. и печати 20.02.95г. Формат 60x84 1/16.
Объем 1, 5 л. 0, 9 уч. изд. л. Заказ 719/3. Тираж 100 экз.
Гортипиграфия Олесского управления по печати, цех 13.
Ришельевская 42.

84748

AB 33.107

AB 33.107

ВНИМАНИЕ! ЗАКАЗЫВАТЬ
ИЛИ ПОЛУЧИТЬ

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО