

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи



Шимон Бойко

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
ТОВАРНОГО БЕТОНА**
(в условиях Израиля)

Специальность 05.23.05 - Строительные материалы и изделия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ОДЕССА - 1996

№ 35. 712

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена

на кафедре "Процессы и аппараты в технологии строительных материалов"
Одесской государственной академии строительства и архитектуры (ОГАСА)
и в Институте стандартов Израиля (The Standards Institution of Israel - СИ)

Научный руководитель - Заслуженный деятель
науки и техники Украины,
д-р техн. наук, профессор

Виталий Анатольевич ВОЗНЕСЕНСКИЙ

Официальные оппоненты - д-р техн наук профессор

Екатерина Константиновна ПУШКАРЕВА

кандидат техн. наук, ст. науч. сотрудник

Михаил Васильевич ЗАВОЛОКА

Ведущая организация - *ПО Одесжелезобетон*

Защита диссертации состоится "22" ОКТАБРЯ 1996 г в 11⁰⁰ часов
на заседании специализированного совета Д 05.09.02 Одесской
государственной академии строительства и архитектуры по адресу:
270029, г. Одесса, ул. Дидрихсона 4, ОГАСА, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Одесской
государственной академии строительства и архитектуры : г. Одесса,
ул. Дидрихсона 4.

Автореферат разослан "16" СЕНТЯБРЯ 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
канд. техн. наук, доцент

Малахова

Н.А. Малахова

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00760084 (P)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема повышения надежности строительных сооружений охватывает весьма широкий спектр инженерных, экологических и социальных аспектов. Одно из направлений решения этой актуальной глобальной проблемы - обеспечение гарантированного уровня качества строительных материалов и изделий. Развитие в этом направлении требует совершенствования систем управления качеством продукции, которые должны, с одной стороны, безусловно реализовать требования стандартов (международных, общегосударственных, корпоративных), а с другой - минимизировать затраты на обеспечение уровня качества. Для этого целесообразно использовать результаты фундаментальных исследований, применять методы и технику других отраслей промышленности, учитывать инфраструктуру региона и ориентироваться на конъюнктуру рынка строительной продукции. В Израиле действует достаточно эффективная система контроля качества товарного бетона (около 90% из 8-8.5 млн.м³ бетона ежегодно потребляемого строительством), однако необходимо, как показывает опыт Standarts Institution of Israel (SII), её совершенствование для снижения общей стоимости контроля и повышения оперативности. Инструментами этого могут, в частности, быть некоторые новые для бетоноведения физико-математические методы; на целесообразность такого подхода обращают внимание многие международные конгрессы по строительному материаловедению. Так, IX конгресс по химии цемента (ICCC) рассматривал в 1993 году проблемы математического моделирования, а намеченный на 1997 год X-ICCC внес исследования с помощью ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) в число приоритетных вопросов.

Цель работы - повышение эффективности контроля и прогнозирования качества товарного бетона на основе экспериментально-статистических моделей (ЭСМ), включающих данные о его составе и процессах структурообразования по оценкам ЯМР-анализа и акустической эмиссии (АЭ).

Для достижения цели решались следующие задачи.

1. На основе анализа накопленной в SII информации о качестве товарного бетона определить направления совершенствования системы контроля в условиях Израиля и построить блок-схему исследований.

2. Выбрать на одной из ведущих фирм базовый состав товарного бетона и обосновать условия варьирования по D-оптимальному плану эксперимента рецептурных факторов, в том числе содержания модификаторов - полимерсодержащей добавки и тонкомолотого наполнителя.

3. Провести по оптимальному плану изготовление и испытание образцов для оценки показателей качества по действующим в Израиле стандартам.

4. Провести изготовление столбчатых элементов как моделей вертикально бетонизируемых частей монолитных сооружений и определить изменение показателей качества бетона по их высоте.

5. Построить и проанализировать многофакторные ЭСМ влияния состава на качество бетона, акцентировав внимание на роль модификаторов.

6. Определить с помощью ЯМР-анализа параметры влагосодержания твердеющего бетона, оценить влияние на них, а также на количество химически связанной воды, рецептурных факторов и построить многофакторные корреляционные экспериментально-статистические модели (КЭСМ) для прогнозирования прочности бетона по этим параметрам.

7. Определить с помощью метода акустической эмиссии параметры структурообразования твердеющего бетона и построить многофакторные КЭСМ для прогнозирования показателей его механических свойств.

Основные методы научного исследования. Экспериментальные исследования выполнены по D-оптимальному четырехфакторному плану. Параметры качества бетонной смеси и бетона определены в соответствии с международными и израильскими стандартами на сертифицированном испытательном оборудовании. Для исследования процессов использованы методы ЯМР и АЭ, реализованные на современных измерительных установках.

ЭС-моделирование и анализ выполнены на компьютерах со специальным программным обеспечением, в том числе в системе COMPEX (ОИСИ-1991).

Научная новизна. Получены экспериментально-статистические зависимости, описывающие влияние на показатели качества бетонной смеси и товарного бетона и на параметры структурообразования твердеющего бетона, отношений цемент/вода и щебень/песок, а также количества модификаторов-полимерсодержащей добавки и тонкомолотого доломитового наполнителя. Выявлены и количественно оценены положительные и отрицательные эффекты влияния модификаторов на физико-механические свойства бетона и на параметры его структурообразования, определяемые методами ЯМР и акустической эмиссии. Выявлены, количественно оценены и реализованы при построении моделей для прогноза качества бетона связи между параметрами. Исследованы изменения в твердеющем цементном композите количества химически связанной воды и влагосодержания, а также влияние на эти параметры структурообразования четырех факторов его состава.

Практическая ценность работы. Фирмам-производителям (в частности, "Pioneer Concrete", "Retard") предложены составы товарного бетона, обеспечивающие требуемый уровень показателей качества смеси и бетона при минимальном расходе цемента. Комплекс моделей позволяет прогно-

зировать прочность бетона по параметрам ЯМР-анализа: оценена их точность; сформулировано направление совершенствования специализированных методов и приборов для физико-химического анализа структурообразования. Построены модели для прогноза механических свойств по параметрам акустической активности; они включены СИ в приложения к проекту нового стандарта Израила по неразрушающему контролю прочности монолитного бетона.

На защиту выносятся:

- ЭСМ, описывающие влияние на показатели качества товарного бетона, а также на параметры его структурообразования, определяемые методами ЯМР и АЭ, четырех факторов состава - Ц/В, Ш/П и количества модификаторов - полимерсодержащей добавки и наполнителя;

- количественные оценки положительных и отрицательных эффектов влияния факторов состава (в частности модификаторов) на физико-механические свойства бетона и на параметры его структурообразования;

- закономерности изменения в твердеющем цементном композите количества химически связанной воды и влагосодержания, а также влияние его состава на эти параметры структурообразования;

- комплексы многофакторных КЭСМ для прогнозирования прочности товарного бетона по данным ЯМР-анализа и АЭ.

Апробация работы. Основные результаты доложены на международных конференциях и семинарах "Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций" (Россия, Белгород, 1995), "Ресурсосбережение и экология промышленного региона" (Макеевка, 1995), "Проблемы строительства и инженерных сооружений" (Польша, Ржешув, 1995), по моделированию и оптимизации композитов (Одесса, 1995 и 1996).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 работ.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и выводов. Ее объем - 172 страницы м.п. текста, в том числе - 8 таблиц, 37 рисунков, список литературы (114 источников) и 4 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Принципы, методы и техника систем контроля качества бетонной смеси и бетона в лабораториях, в процессе изготовления изделий или возведения конструкций, при оценке состояния эксплуатируемых сооружений и в других обстоятельствах изменяются с развитием науки и практики. На основе анализа этих изменений международные организации (RILEM, ISA и др.) определяют тенденции совершенствования организации, стандартизируемых и исследовательских методик, инструментального и правового обеспечения контроля

качества бетона. Однако темп и характер изменений в системах контроля качества и реализации рекомендаций по его совершенствованию определяются экономическими и социальными условиями конкретных государств.

В Израиле 90% смесей поступает на объекты в виде товарного продукта в смесителях 6 или 9 м³; этот очень высокий показатель даже по сравнению с высокоразвитыми странами Запада является первой особенностью, которую необходимо учитывать при анализе и совершенствовании системы контроля.

Во-вторых, в Израиле работают 220 заводов товарного бетона, из которых более 80% - современные предприятия, производящие продукцию "высшего уровня контроля" при жестком выполнении требований Стандарта 118. Он регламентирует три уровня контроля качества бетона, выход на которые зависит от гарантий складирования и входного контроля исходных материалов, точности дозирования, режимов смешивания, отбора и испытания проб и др., определяя конкурентоспособность смесей при достаточно насыщенном рынке.

Система оценки качества работ бетонных заводов основывается на статистическом анализе результатов систематического контроля: а - основных параметров производства товарного бетона на самих предприятиях, б - постоянного текущего отбора проб смеси на объектах, в - испытаний образцов бетона в сертифицированных государством лабораториях. Такой жесткий контроль требует значительных затрат, и их высокий вес в общей стоимости каждой партии бетона является третьей особенностью Израиля в этой области.

Как четвертую особенность следует отметить крайне ограниченный круг поставщиков основных исходных материалов при широком "прилавке" добавок-модификаторов качества смесей и затвердевшего бетона по разным показателям, а также полноценное оснащение лабораторий современным испытательным оборудованием (фирм "ELE International", "Controls S.p.A." и др.).

Анализ информации СИИ о качестве товарного бетона в Израиле, о функционировании системы его контроля и об основных исследованиях по прогнозированию и контролю качества материалов с использованием математических и нетрадиционных физических методов, выполненных в странах Запада (D. Jungwirth, H. Lambotte, L. Taerwe, G. Y. M. Teodoru и др.) и в СССР (В.А. Вознесенский, Л.И. Дворкин, В.А. Дорф, М.Ю. Лещинский, В.А. Пирогов, Д.Н. Суворов, Ю.Г. Хаютин и др.) позволил сформулировать цель и задачи работы и построить блок-схему исследований, показанную на рис. 1.

В качестве базового принят состав бетона одной из ведущих фирм "Pioneer Concrete LTD": цемент - 280, вода - 200, песок - 570, щебень - 1270, добавка НСР-1 - 0.56 кг/м³. Смесей изготовлены на используемых

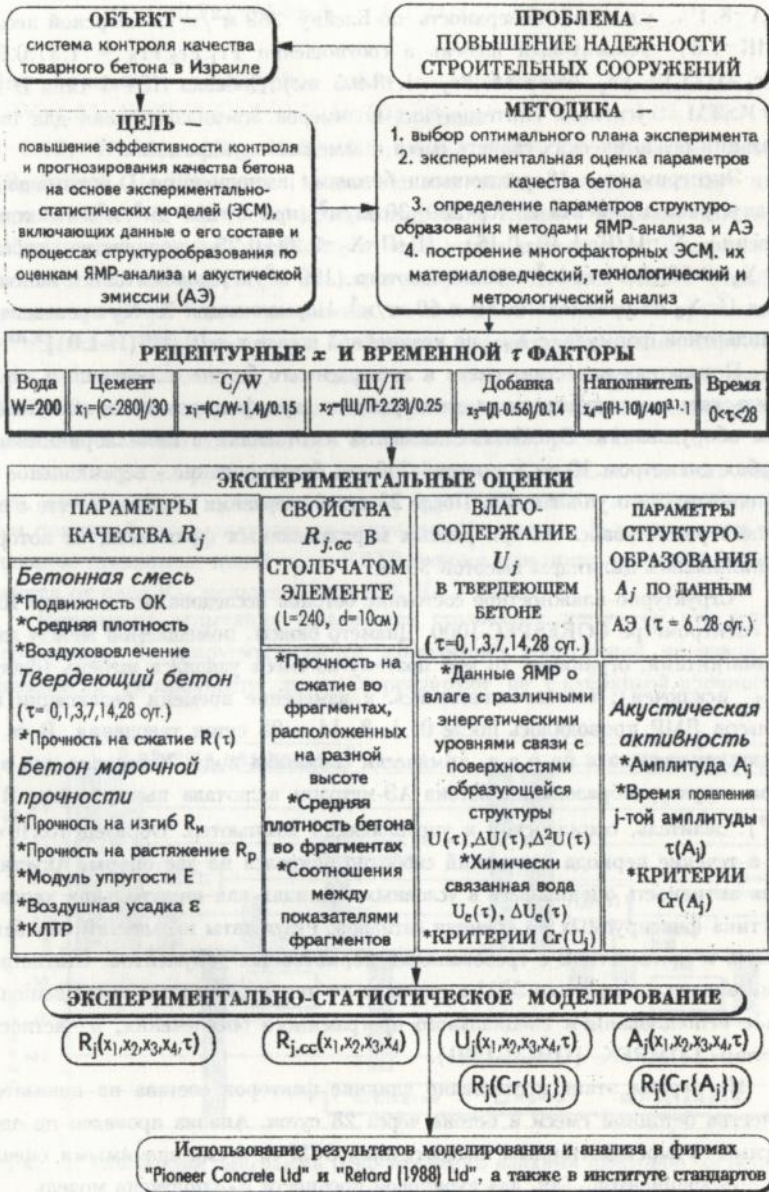


Рис. 1. Блок-схема исследований

фирмой материалах: цемент марки ЦП-250 завода "NESHER" ($C_3S=62.0$, $C_2A=8.4\%$, удельная поверхность по Блейну $289 \text{ м}^2/\text{кг}$); морской песок (МК-1.5): доломитовый щебень в соотношении $Fr_1:Fr_2:Fr_3 = 1.37:0.39:1$ ($Fr_1 - 4.75-19$, $Fr_2 - 1.75-14$, $Fr_3 - 1.18-9.5 \text{ мм}$). Добавка HGP-1 типа D и G по ASTM - суспензия синтетических полимеров, предназначенная для оптимизации реологических свойств смеси и замедления гидратации.

Эксперимент с 18 различными бетонами выполнен по D-оптимальному плану: расход цемента $\Pi=X_1=280\pm 30 \text{ кг/м}^3$ (при $B=200 \text{ дм}^3/\text{м}^3$, что тождественно $X_1=\Pi/B=1.40\pm 0.15$), $\Pi/\Pi=X_2=2.23\pm 0.25$, количество добавки $D=X_3=0.56\pm 0.14 \text{ кг/м}^3$ и тонкомолотого ($199 \text{ м}^2/\text{кг}$) доломитового наполнителя $\Pi-X_4$ на уровнях 10, 50 и 60 кг/м^3 . Нормализация X_1-X_3 проведена по стандартной формуле, а X_4 - по нелинейной шкале $x_4=[0.025(N-1.0)]^{3.106}-1$.

Показатели качества смеси и затвердевшего бетона определялись по израильским и международным стандартам на сертифицированном испытательном оборудовании. Столбчатые элементы изготавливали в полихлорвиниловых трубах диаметром 10 см и высотой 240 см; бетонирование - вертикальное без дополнительного уплотнения. После 28 суток твердения образец вместе с оболочкой распиливался на три равных маркированных фрагмента, из которых выпиливались цилиндры высотой 30 см.

Структурно-влажностное состояние бетонов исследовалось методом ЯМР на спектрометре CORESPEC-1000. Диаметр бюксы, помещаемой между электромагнитами, ограничен 20 мм. поэтому из смеси удалялся щебень (фактор " X_2 " исключен): бюксы запаивались, и измерение времени релаксации импульсов ЯМР проводилось после 0, 1, 3, 14 и 28 суток твердения. В те же сроки определялась по п.п.п. химически связанная вода. Установка для анализа структурообразования бетона АЭ-методом включала пьезодатчики R-15 (1^н), делитель, осциллоскоп и управляющий компьютер. Образец $10\times 10\times 40 \text{ см}$ в течение периода измерений свободно опирался на две опоры. Акустическая активность оценивалась в условных единицах как интегральная характеристика фиксируемых во времени сигналов. Результаты испытаний обрабатывались в соответствии с требованиями нормативных документов. Статистический анализ, построение ЭСМ и решение по ним инженерных задач выполнены с использованием специального программного обеспечения, в частности, системы COMPEX (ОИСи-1991).

На первом этапе исследовано влияние факторов состава на показатели качества бетонной смеси и бетона через 28 суток. Анализ проведен по адекватным четырехфакторным квадратичным ЭСМ со всеми значимыми оценками коэффициентов. Так, для кубиковой прочности R_{28} получена модель

$$R_{28} = 24.7 + 4.3x_1 - 1.6x_1x_4 - 0.7x_2 + 1.9x_2^2 + 1.2x_2x_3 - 0.8x_2x_4 + 0.7x_3x_4 \quad (1)$$

Она описывает рецептурное поле с параметрами $R_{28\max}=34.1$ (при $C/W=1.55$, $\Pi/\Pi=2.5$, $D=0.7$, $H=60$), $R_{28\min}=18.1$ ($C/W=1.25$, $\Pi/\Pi=2.3$, $D=0.42$, $H=60$), $\Delta R_{28}=16.3$ МПа, $\delta(R_{28})=190\%$ и индексом качества $I\{R_{28}\}=31\%$. По ЭСМ типа (1) для каждого свойства решен комплекс инженерных задач. В частности, проанализировано влияние ингредиентов по однофакторным кривым, проходящим через точки экстремумов. Диаграмма такого влияния на прочность показана на рис. 2. Добавка НСР-1 повышает предел прочности бетона на сжатие, но несколько снижает его прочность на растяжение. Наполнитель при повышении концентрации увеличивает R_{28} и $R_{\text{н}}$ в области максимума, но снижает в области минимума (при высоких W/C). Воздействие наполнителя на сопротивление растяжению отрицательно, причем степень его достигает 2/3 от положительного роста C/W .

Анализ рецептурного поля модуля упругости E показал, что этот показатель качества более чувствителен, чем R_{28} ($\delta\{E\}=425\%$ и $I\{E\}=62\%$), причем причиной этого является введение модификаторов. В то же время обобщающие показатели полей ϵ_y и КЛТР (кроме координат экстремумов) отличаются от поля R_{28} меньше ($I\{\epsilon_y\}=43\%$ и $I\{\lambda\}=37\%$).

Результаты испытания фрагментов столбчатых элементов как моделей вертикально бетонироваемых частей монолитных сооружений показали, что показатели их прочности лучше коррелируют не с кубиковой прочностью.

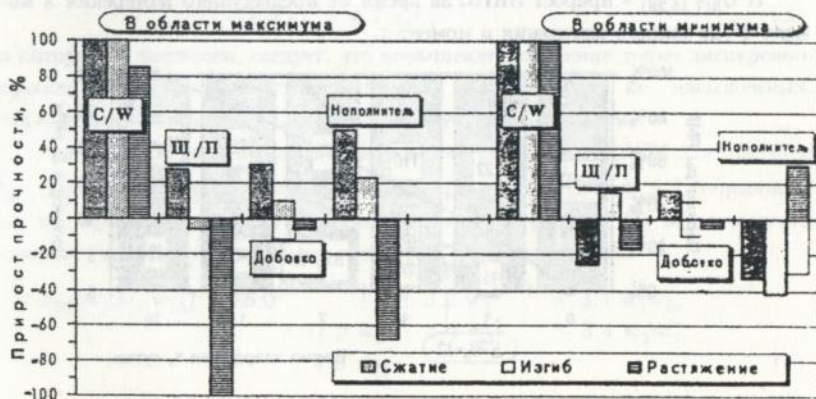


Рис. 2. Столбчатая диаграмма относительного влияния факторов состава на R_{28} , $R_{\text{н}}$ и $R_{\text{р}}$ в областях максимума и минимума

а с прочностью бетона на растяжение при раскалывании. Рассеяние значений показателей качества по высоте столба определяется, как правило, содержанием модифицирующих добавки и наполнителя.

Структурообразование в твердеющем композите в значительной степени определяется (D.Shtakelberg) уровнем и формами влагосодержания, для количественной оценки которого использована амплитуда ЯМР. Начальное влагосодержание U_0 , т.е. количество свободной воды (г/кг.сух), определялось в свежеприготовленной ($\tau=0$) смеси. При твердении $\tau > 0$ суток (рис. 3) влагосодержание снижается до U_τ . Разность $\Delta U_\tau = U_0 - U_\tau$ характеризует отток свободной влаги из толстых водных пленок на вновь образующиеся твердые поверхности гелевой и капиллярной составляющих формирующейся структуры. Часть физически связанной воды переходит в область более высоких энергий взаимодействия с материалом. Параметры ЯМР достаточно надежно отражают (Halperin W.P., Jehng Jyh-Yuar, Song Yi-Qiao) изменения радиусов пор в диапазоне от 20 до 2000 Å по мере развития структуры цементного камня.

Для 19 бетонов в возрасте $\tau=1, 3, 7, 14$ и 28 суток определен пределы прочности на сжатие R_τ , а для соответствующих композитов без крупного заполнителя анализом ЯМР получена информация о временных параметрах U_τ (в возрасте 1, 3, 7, и 28 суток), характеризующих влагосодержание:

$U_{1(3,7,14,28)}$ - с низким энергетическим уровнем связи, т.е. влагосодержание коллоидной структуры;

$\Delta U_{1(3,7,14,28)}$ - с высоким энергетическим уровнем связи, т.е. влагосодержание капиллярно-пористой структуры (ВКПС);

$\Delta^2 U_{3(7,14,28)}$ - прирост ВКПС за время от предыдущего измерения в момент τ' до данного изменения в момент τ .



Рис. 3. Изменение параметров ЯМР-анализа и прочности за 28 суток твердения бетона производственного состава

В компьютерном анализе дополнительно использованы симплексы и комплексы, производные из этих параметров. Рассмотрены две основные инженерные ситуации. Первая - при полном объеме информации о параметрах $R(\tau)$ и $U(\tau)$, что полезно прежде всего при изучении процессов структурообразования. Вторая - при наличии информации о структурообразовании только за 1-3 суток, по которой необходимо прогнозировать марочную прочность R_{28} и контролировать дозирование воды на бетонных заводах. Анализ основывался на квадратичных ЭСМ влияния факторов состава $U_i = f(x_1, x_2, x_4)$, на оценках коэффициента детерминации различных форм взаимосвязи между случайными величинами U_i (а также их симплексами), на многомерных моделях связи параметров ЯМР-анализа с прочностью R_{28} (в задачах прогноза).

По параметрам DU_i можно оценивать R_i (для того же фиксированного времени τ !), допуская, как следует из рис. 3, линейную связь. Для всех 19 композитов связь с коэффициентом корреляции $r=0.86$ описывается с ошибкой 4.0 МПа моделью

$$R_i = K_0 + K_1 \Delta U_i = -1.16 + 0.504 \Delta U_i \quad (2)$$

Для каждого из бетонов уровень r значительно выше, а ошибка не превышает 2.2 МПа. Коэффициенты K_0 и K_1 в этой ЭСМ - функции факторов состава Ц, Д, и Н. Модели $K_0(x_1, x_3, x_4)$ позволяют анализировать влияние этих факторов на процесс структурообразования. Так, для прочности композитов при равном ВКПС $\Delta U=45$ получена модель

$$R\{\Delta U=45\} = 17.9 + 3.2 x_1 - 1.2 x_1 x_3 + 1.7 x_1 x_4 - 1.2 x_3 + 2.1 x_3 x_4 + 1.0 x_4 + 4.7 x_4^2, \quad (3)$$

из которой, в частности, следует, что повышенное введение тонко дисперсного порошка (x_4) увеличивает количество энергетически не насыщенных, "паразитных" контактов, ослабляющих структуру композита.

Анализ различных версий моделирования показал, что ЭСМ для прогноза R_{28} должны включать нормализованные аргументы $-1 \leq w \leq 1$, образованные из параметров анализа ЯМР за 1-3 суток твердения. Из всего моделей полезной (погрешность прогноза около 18%) можно считать

$$R_{28}(w_1, w_3, w_{10}) = 26.0 + 3.2 w_1^2 + 3.1 w_1 w_{10} + 11.9 w_3 + 3.4 w_3^2 + 3.4 w_3 w_{10} - 4.0 w_{10}, \quad (1)$$

учитывающую начальное влагосодержание $w_1 = (U_0 - 112)/34$, влагосодержание капиллярно-пористой структуры после 1 суток $w_3 = (\Delta U_1 - 19)/9$ и вла-

гу, перешедшую на этот высокий энергетический уровень за 2-е и 3-и сутки, $w_{10} = (\Delta^2 U_3 - 12) / 4$. Если в дополнение к результатам ЯМР в моделях типа (1) учесть информации о химически связанной воде, то погрешность прогноза R_{28} снизится примерно на 20%. Резкое уменьшение ошибки возможно, если технолог уверен в точности дозирования всех компонентов кроме воды. В этом случае учет уровней Ш, П, Д и Н совместно с данными физико-химического экспресс-контроля позволяет прогнозировать R_{28} с точностью не худшей, чем по результатам испытаний образцов бетона на сжатие R_1, \dots, R_3 .

Преимуществом метода акустической эмиссии является измерение и анализ сигналов, генерируемым не внешним источником, а исследуемым материалом. Наличие связей между его механическими свойствами и характером акустических сигналов не вызывает сомнений, однако, градуировка этих связей без компьютерных технологий затруднена. Измерение акустической активности A (тыс. усл. ед.) при твердении (в период $\tau=10 - 28$ суток) 19 бетонов допускало гипотезу о значительных отличиях в характере процессов структурообразования. На рис. 4 показаны кривые $A(\tau)$ для бетонов с граничными значениями прочности $R_{28}=20$ МПа (малое С/В при среднем уровне добавки, повышенные Ш/П и наполнитель) и $R_{28}=35$ МПа (все факторы на верхних уровнях). Для описания связей параметров АЭ с показателями качества композита непрерывные ряды $A(\tau)$ заменены на их числовые характеристики - обобщающие показатели G_A . Первичных G_A пять - амплитуды максимального и второго пиков (а при его отсутствии - вторая по уровню амплитуды

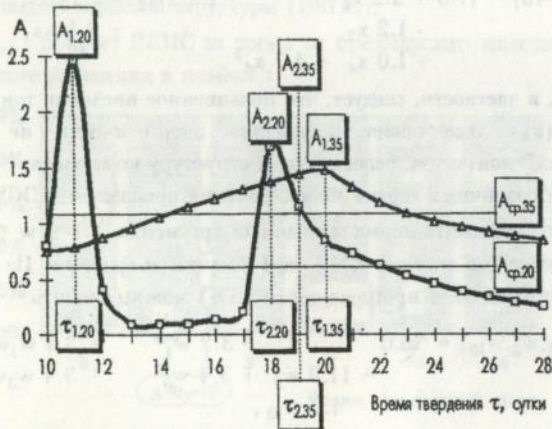


Рис. 4. Изменение акустической активности при твердении бетона с прочностью $R_{28}=20$ и $R_{28}=35$ МПа

да), соответствующее им время τ и средний уровень A_{cp} . Однако гипотезу об с пределами прочности R_{28} , R_n и R_p , а также с коэффициентом дефектности их связи $K_d=0.5(R_n+R_p)/R_{28}$, принять без большого риска нельзя.

Проанализирован веер моделей с более сложными объединяющими показателями $Q(G_A)$; выбирались те из них, которые имели физический смысл и были минимально закоррелированы. Перспективными оказались, в частности, A_{cp} , $\Delta A=A_1 - A_{cp}$ и "момент" $m_{12}=A_1 |\ln \tau_1 - \ln \tau_2|$ для всех градуировочных зависимостей. Построены ЭСМ с нормализованными факторами $z_1=(A_{cp} - 0.64)/0.55$, $z_2=(\Delta A - 1.03)/0.81$ и $z_3=(m_{12} - 0.70)/0.66$ типа

$$\begin{aligned} \ln R_{28}^{sp} = & 3.23 + 0.43z_1 - 0.30z_1^2 + 0.38z_1z_3 \\ & + 0.14z_2 - 0.22z_2^2 + 0.21z_2z_3 \\ & - 0.34z_3. \end{aligned} \quad (5)$$

Из (5) удалены незначимые эффекты b_{ij} ; эта модель для R_{28} имеет достаточный высокий коэффициент детерминации 0.68 и хорошую точность 12%. Если считать допустимым для контроля качества монолитного бетона марок В15-В30 отклонение $R_{28}^{sp} = \pm 10\%$, то повышенную погрешность вносят низкие C/W и Π/Π при содержании наполнителя более 50 кг/м^3 . Для других показателей механических свойств (R_n , R_p , K_d) модели, учитывающие A_{cp} , ΔA и m_{12} , имеют погрешность прогноза 8-10%.

Результаты и методика исследований переданы в СИИ для использования при разработке новых и изменении действующих стандартов, а также для проектных предложений по совершенствованию общегосударственной системы контроля качества строительства.

Для фирмы "Pioneer" на основе комплекса ЭСМ разработаны диаграммы типа "Квадраты (цемент, наполнитель) на квадрате (Π/Π , НСР-1)", позволяющие решать задачи многокритериального назначения состава товарного бетона. Из условий получения бетонной смеси $OK \geq 12$, бетона марки В-20 с коэффициентом вариации при вертикальном бетонировании $v\{R\} \leq 10\%$ и минимальном расходе цемента, на диаграммах проанализированы 14 составов бетонов с широкой гаммой свойств. Три состава перспективных для фирмы и её заказчиков показаны в табл. 1. Состав №1 имеет самый высокий КЛТР и полезен для повышения трещиностойкости поверхностного слоя конструкций; состав №13 позволяет получить однородный бетон и по случайному рассеянию прочности ($v=4.3\%$), и по систематической составляющей прочности ($K_n^n=R_n^{нз}/R_n^{всрх}=96\%$); состав №14 имеет наибольшую пластичность бетонной смеси.

Таблица 1. Бетоны с пониженным расходом цемента для фирмы "Pioneer"

№ смеси	Состав бетона				Показатели качества бетонной смеси и бетона								
	Цемент, кг/м ³	Щ/Г	Модификатор, к массе цемента	%	OK, см	R ₂₈ , МПа	R _к , МПа	R _p , МПа	v(R), %	K _в , %	E, ГПа	ε _p , мм/м	λx10 ⁶
	FCP-1		Наполнитель										
1	<u>254</u>	1,98	0,28	3,0	17	<u>24</u>	3,1	<u>2,7</u>	9,3	85	12	0,54	<u>11</u>
13	<u>257</u>	2,48	0,27	23,4	17	<u>24</u>	3,1	2,4	<u>4,3</u>	<u>96</u>	<u>20</u>	<u>0,38</u>	8
14	<u>261</u>	2,48	0,27	3,8	<u>22</u>	<u>24</u>	<u>3,9</u>	2,4	6,1	90	18	<u>0,39</u>	9

Фирма "Retard (1988) Ltd" совместно с СИ начала работы по внедрению метода акустической эмиссии для контроля процессов твердения монолитного бетона в ответственных сооружениях. Фирме переданы тарифовочные зависимости R(A₁) и диаграммы "Квадраты на квадрате" для определения условий, при которых ошибка находится в пределах 10% для бетонов марок В15-В30.

ВЫВОДЫ

1. Комплекс экспериментально-статистических моделей, включающих данные о составе товарного бетона (отношения цемент/вода и щебень/песок, количества модификаторов - полимерсодержащей добавки и наполнителя) и процессах структурообразования по оценкам ЯМР-анализа и акустической эмиссии, позволяет осуществлять многокритериальный выбор рациональных отношений между его ингредиентами и прогнозировать показатели качества, в частности его марочную прочность, что способствует совершенствованию системы контроля и снижению затрат на её функционирование.

2. Оптимальное планирование эксперимента при многокритериальном исследовании бетонов и других композиционных материалов (особенно с применением новых технологий исследований их свойств) дает значительную экономию материальных и временных ресурсов, а ЭСМ на такой основе позволяют полно извлечь из опытных данных инженерную информацию, что должно способствовать ускорению прогресса в строительстве Израиля.

3. На основе ЭСМ установлено, что модификаторы - полимерсодержащая добавка и наполнитель, меняя характер структурообразования (изменение свойств воды в тонких пленках, образование условий "стеснения" при гидратации, увеличение числа паразитных микроконтактов, трансформация процессов перехода влаги на высокий энергетический уровень связи с вновь образующимися твердыми поверхностями и др.) неоднозначно влияют на показатели качества бетона: в частности модификаторы могут снижать его упру-

гость и сопротивление растягивающим напряжениям.

4. Из результатов испытания фрагментов столбчатых элементов как моделей вертикально бетонизируемых частей монолитных сооружений следует, что показатели их прочности лучше коррелируют не с кубиковой прочностью бетона, а с прочностью бетона на растяжение при раскалывании: рассеяние значений показателей качества по высоте столба в значительной степени определяется содержанием модифицирующих добавки и наполнителя.

5. Определены с помощью ЯМР-анализа параметры влагосодержания твердеющего бетона, оценено влияние на них, а также на количество химически связанной воды рецептурных факторов, что позволило построить многофакторные корреляционные ЭСМ для прогнозирования прочности бетона; при прогнозе марочной прочности R_{28} по результатам испытаний цементных композитов в возрасте 1-3 суток модели обеспечивают точность около 15%.

6. По результатам определения акустической эмиссии рассчитана гамма показателей, характеризующих процессы структурообразования в твердеющем бетоне, и построены многофакторные корреляционные ЭСМ, позволяющие прогнозировать по этим показателям характеристики механических свойств бетона в возрасте 28 суток с точностью 8-10%.

7. Предложения по составам товарного бетона марок М15-М30, обеспечивающим комплекс показателей качества бетонной смеси и бетона при минимальном расходе цемента переданы фирмам-производителям, а предложения к стандарту по неразрушающему контролю прочности монолитного бетона с использованием акустической эмиссии приняты к рассмотрению в СИ.

Основные результаты работы отражены в следующих публикациях.

1. Бойко Ш. Основные направления совершенствования системы контроля качества товарного бетона на заводах Израиля // Моделирование в материаловедении: Мат-лы межгосуд. сем-ра. - Одесса, 1995. - С. 7.

2. Вознесенский В.А., Бойко Ш., Штакельберг Д. Экспериментально-статистические модели в системе управления качеством товарного бетона // Ресурс- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций: Мат-лы междунар. конф. - Белгород, 1995. - Ч.3. - С. 18-19.

3. Экспериментально-статистическое моделирование и анализ полей свойств бетона/Маргалъ И., Вознесенский В., Коваль С., Ляшенко Т., Бойко Ш. //Problemy budownictwa i inzynierii srodowiska //IV Naukowa konf. Rzeszowsko-lwowska. cz. I: Budownictwo.- Rzeszow, 1995. - С. 219- 225.

4. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Бойко Ш., Штакельберг Д. Компьютерный анализ возможностей прогноза прочности цементных композиций по оценкам ЯМР-анализа //Моделирование и вычислительный эксперимент в материаловедении: Мат-лы междунар. семинара. - Одесса, 1996. - С. 5-6.

5. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Бойко Ш., Муравин Г. Многомерные градуировочные зависимости в системе "механические свойства - акустическая активность" твердеющего бетона. - В кн. [4]. - С. 7-8.

Доля сонкстателя в работе [2] - 50% (концепция совершенствования системы контроля качества бетона в Израиле), в [3] - 30% (анализ полей свойств товарного бетона) и в [4-5] - 40% (экспериментальные исследования и технологическая интерпретация результатов моделирования).

Бойко Ш. Удосконалювання методів прогнозування та контролю якості товарного бетону (в умовах Ізраїлю).

Дисертація в рукописному вигляді на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 - будівельні матеріали і вироби, Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 1996.

Досліджено дія факторів основного складу та модифікаторів (полімерної добавки і наповнювача) на комплекс властивостей твердіючого товарного бетону та на параметри його структуроутворення, установлені методами ядерно-магнітного резонансу та акустичної емісії. Виявлено доцільність застосування багатфакторних експериментально-статистичних моделей, у тому числі включаючих парметри структуроутворення, для поліпшення системи коректування контролю та прогнозування якості товарного бетону.

Ключові слова: бетон, контроль якості, експериментально-статистична модель, ядерно-магнітний резонанс, акустична емісія.

Boyko Shimon. Improving the Methods to Predict and Control Commodity Concrete Quality (under Conditions of Israel).

Dissertation in manuscript form for candidate of technical science degree in speciality 05.23.05. - Building Materials and Products, Odessa State Building and Architecture Academy, Odessa, 1996.

Studied has been the influence of base composition and modifiers (polymer additive and filler) on the complex of properties of hardening commodity concrete and its structure formation parameters, determined by nuclear-magnetic resonance and acoustic emission methods. The advisability is shown of using multi-factor experimental-statistical models, including structure formation parameters, in particular, to improve the system of estimation and control of commodity concrete quality.

... (faint text at the top of the page, possibly bleed-through or a header)

... (faint text block)

... (faint text block)

... (faint text block)

... (faint text block)

... (faint text block)

... (faint text block)

... (faint text block)

Отпечатано в издательстве "Астропринт".
Одесса, Французский б-р, 24/26. Тел. 26-98-82, 68-77-33.
Объем 1 п. л. Тираж 100 экз. Зак. № 380.

15.512

U 39754

AB 35.712

AB 35.712