

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА БЕТОНА ПРИ ПОЭТАПНОМ ВВЕДЕНИИ ИНГРЕДИЕНТОВ

С.В. Коваль, Е.П. Гофман (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса)

С использованием экспериментально-статистических моделей проанализировано влияние комплексной добавки при поэтапном введении ее ингредиентов. Показана возможность сохранения свойств смеси длительный период при повышении темпа набора прочности мелкозернистого бетона.

Технологическая постановка задачи. Основным направлением использования добавок в современной технологии бетона является управление всем комплексом заданных показателей качества. Обеспечение заданных параметров технологических смесей в условиях их длительного транспортирования с последующей ускорением процессов твердения является сложной инженерной задачей в монолитном каркасном строительстве [1]. Эта задача может быть решена за счет совмещения модификаторов разных классов по схеме, представленной на рис.1. Для регулирования технологических свойств смеси используются пластифицирующие ПАВ, в том числе суперпластификаторы (СП). В то же время для смесей, модифицированных этими добавками характерна довольно быстрая потеря удобоукладываемости [1].

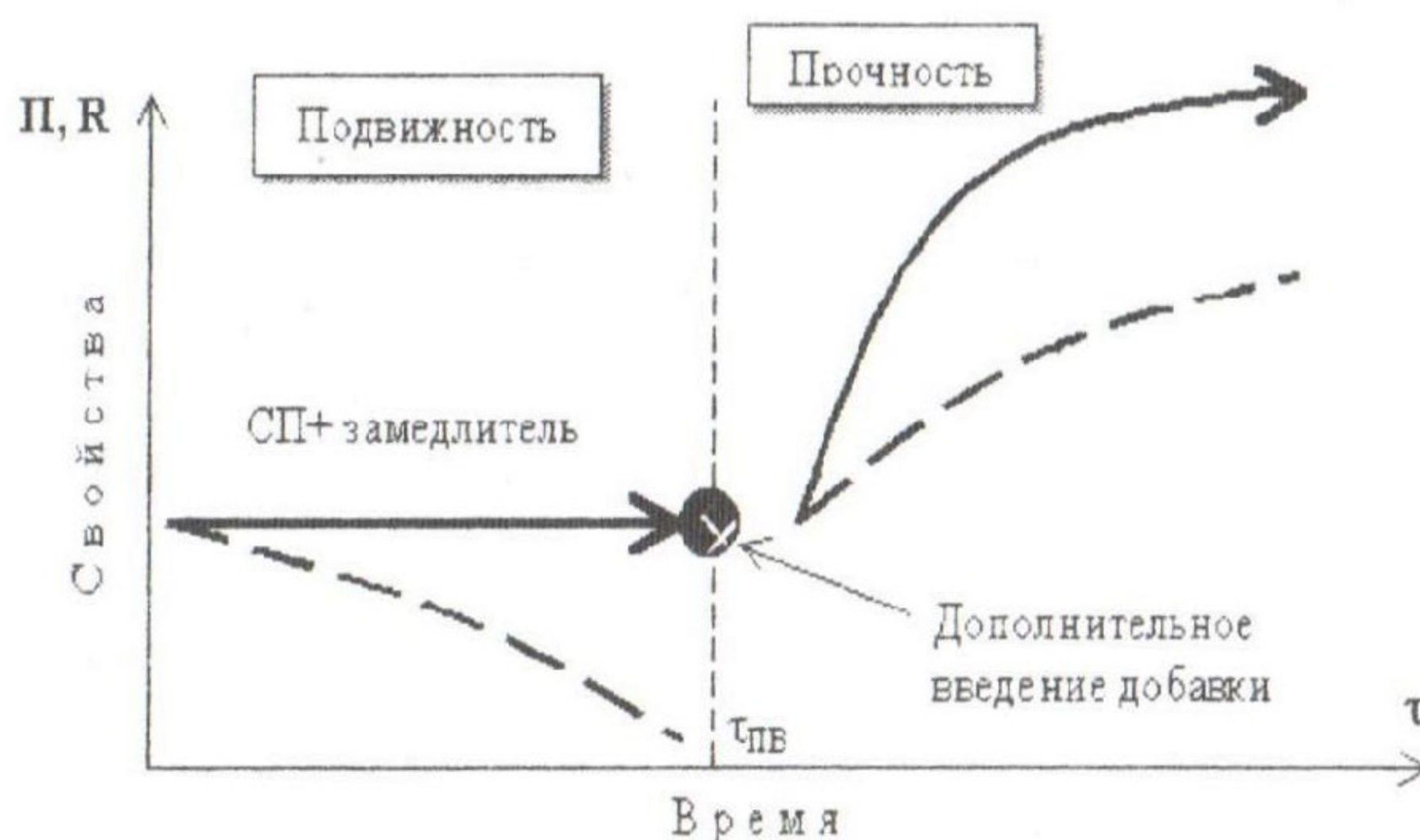


Рис. 1. Обобщенная схема влияния ингредиентов

Совмещение СП с замедлителем позволяет сохранить в течение определенного времени подвижность смеси (П). Так как введение замедлителя приводит к снижению прочности R , для компенсации потери R перед началом укладки смеси в опалубку целесообразно дополнительно вводить в пластифицированную смесь добавку – ускоритель, что может быть особенно эффективным при согласовании с процессами структурообразования [2].

Методические особенности эксперимента. Опыты поставлены по 15-ти точечному D-оптимальному плану (рис.2.а). Уровень $x_1 = -1$ совмещен с нулевой концентрацией добавок (точка №1), что позволяет исследовать по моделям П и R бездобавочную композицию, а также композиции с индивидуальными и двойными добавками. Точки №2-№5 отвечают составу «первоначальной» смеси равноподвижного раствора (погружение конуса $P_0 = 10 \pm 0,2$ см) с варьируемыми концентрациями стандартного суперпластификатора С-3 (фактор X_2) и замедлителя Izola VZ-520 (фактор X_3).

Опыты в пяти базовых точках дополняются на первом этапе проектированием смесей в точках №6-№10, но в этом случае смеси не содержат ускорителя ($X_1 = 0\%$, фактор, индексированный как $x_1 = -1$). В смеси, полученные в этих опытных точках, после 2-х часовой выдержки при температуре 22 ± 1 °С вводился в переменных дозировках ускоритель твердения Na_2SO_4 . Схема формирования факторного пространства показана на рис.2.а. Для приготовления растворов П:Ц=1: 2 использовался портландцемент М500 и песок Мк

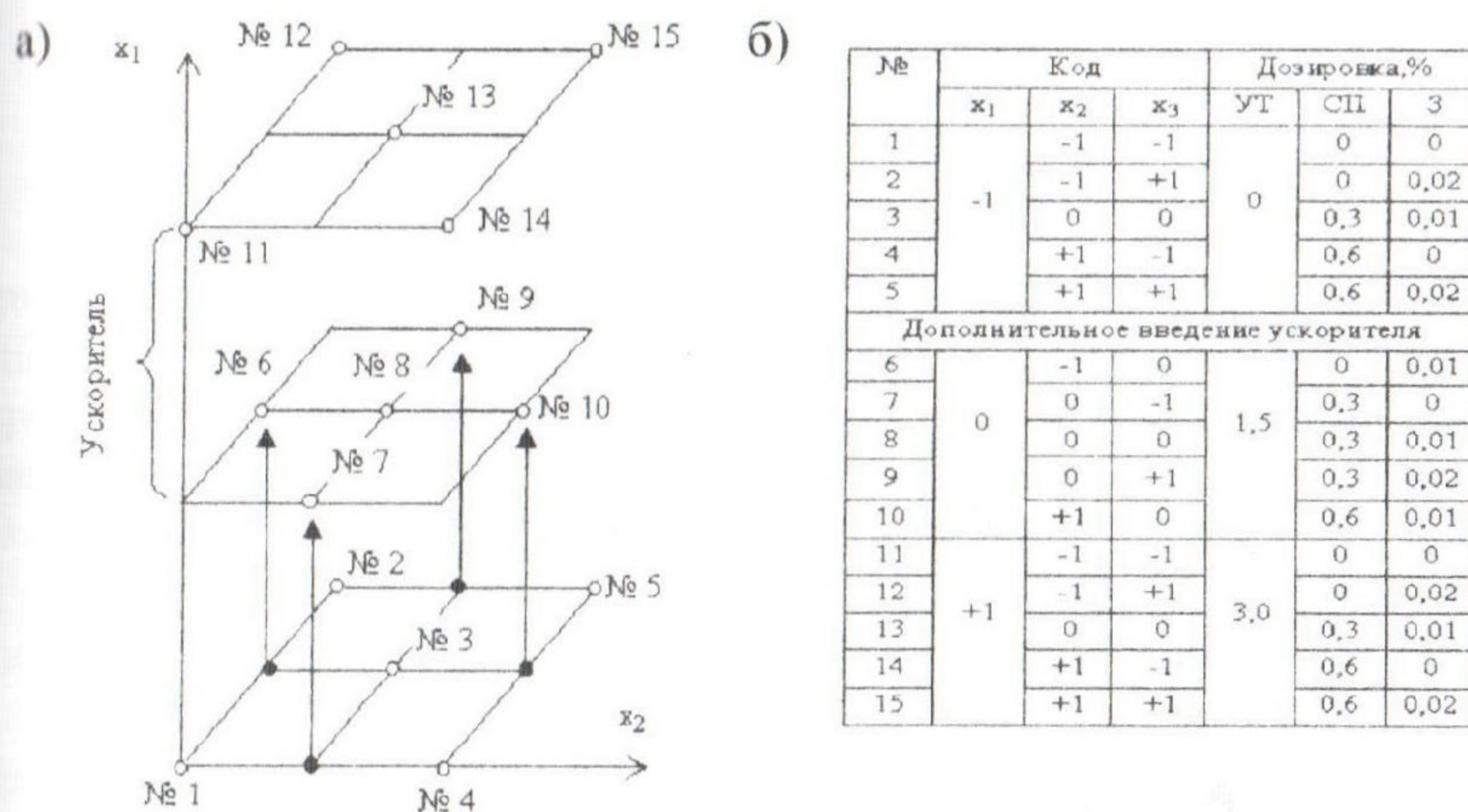


Рис.2. Варьирование концентраций добавок по трехфакторному плану (а) и расположение опытных точек в факторном пространстве (б)

=1.8.

Поиск оптимальной рецептуры трехкомпонентной добавки. В качестве базовых исследованы двухфакторные модели показателя потери подвижности смеси $C=(\Pi_0 - \Pi_{\tau=2}) / \Pi_0, \%$, полученные после 2-х часовой выдержки, и трехфакторные модели прочности на сжатие растворов R_1 (МПа) после 24 часов твердения. Влияние трех добавок на прочность раствора в зоне максимума и минимума R_1 показана на рис.3.а. Воздействие ускорителя на R_1 сопоставимо с суперпластификатором, при этом возможна полная компенсации негативного действия замедлителя, особенно при введении СП и регулятора твердения в оптимальных дозировках.

За счет совмещения СП с замедлителем может быть в значительной степени компенсирована потеря подвижности смеси в процессе ее хранения. На нижней грани куба (рис.3.б) отображается действие двухкомпонентной добавки “суперпластификатор-замедлитель”, введенной при приготовлении смеси; область рецептур технологичных смесей ($C \geq 50\%$) после выдержки занимает около 1/3 рецептурной плоскости.

Графическое решение задачи о выборе оптимальных ингредиентов с использованием изолинии $C=50 \%$ (проектируемой вдоль координаты X_1) и изоповерхности $R_1=14$ МПа показано на рис.3.б. В пространстве $\{X_1, X_2, X_3\}$ формируется область (заштрихована), в которой сохраняется высокая подвижность смеси, а прочность возрастает до 14-15 МПа после первых суток твердения.

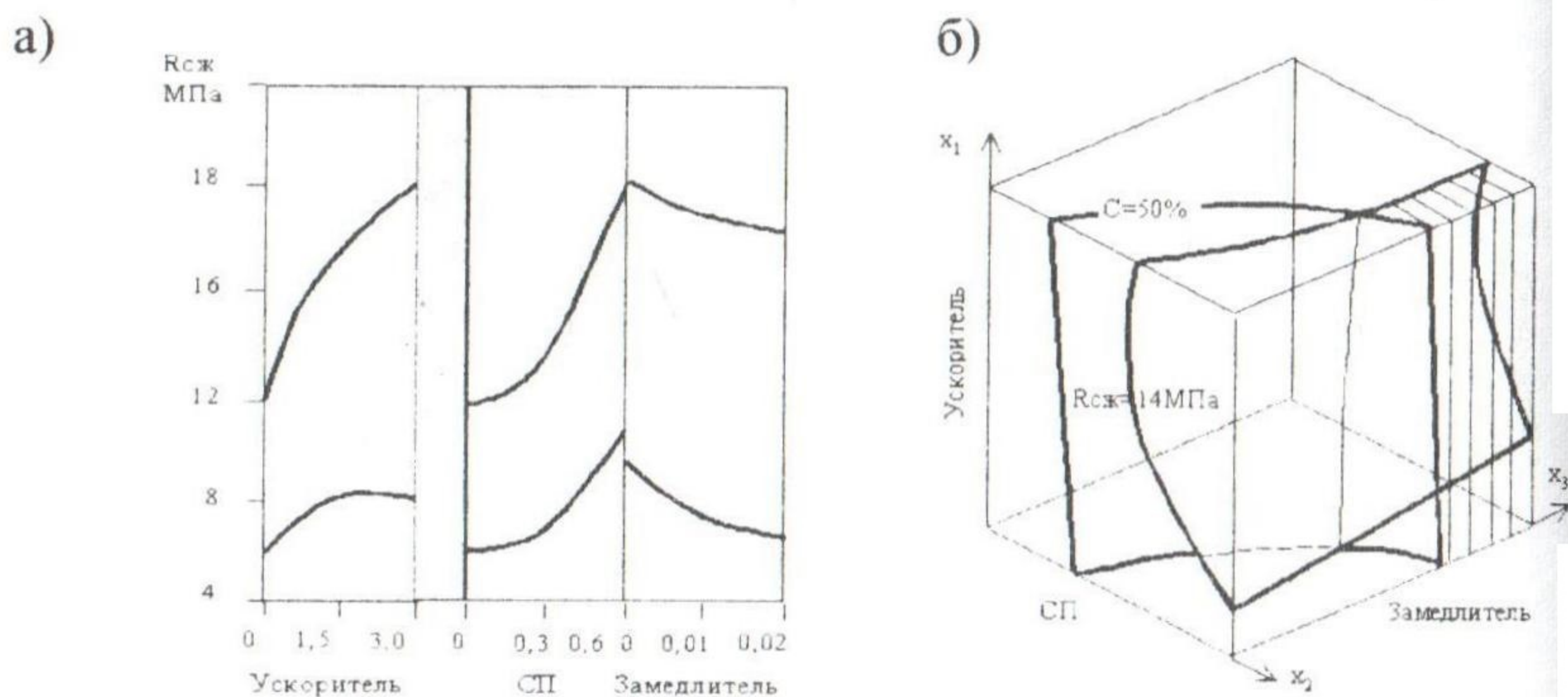


Рис.3. Влияние ингредиентов в зоне максимума и минимума R_1 (а) и поиск компромиссной области оптимальных концентраций (б)

Анализ взаимодействий в системе комплексной добавки. Известно, что добавки, проявляющие синергизм, действуют таким образом, что активность их смеси превышает сумму активностей индивидуальных компонентов. Это может происходить или в результате непосредственного химического взаимодействия между ингредиентами, и/или при параллельных (и конкурирующих) процессах на поверхностях раздела. Построение критерия, отображающего синергетические взаимодействия в системе трехкомпонентной добавки, было осуществлено в несколько этапов согласно методике [3]. По экспериментальным данным рассчитаны относительно эталонного бетона ($x_i = -1$) "приросты" (%) прочности $K_f = (R\{D\} : R_0) - 1$ для всех заданных планом комбинаций компонентов (см. рис.2.а). Изоповерхности K_f , характеризующие активность смесей добавок, представлены на рис.4.а.

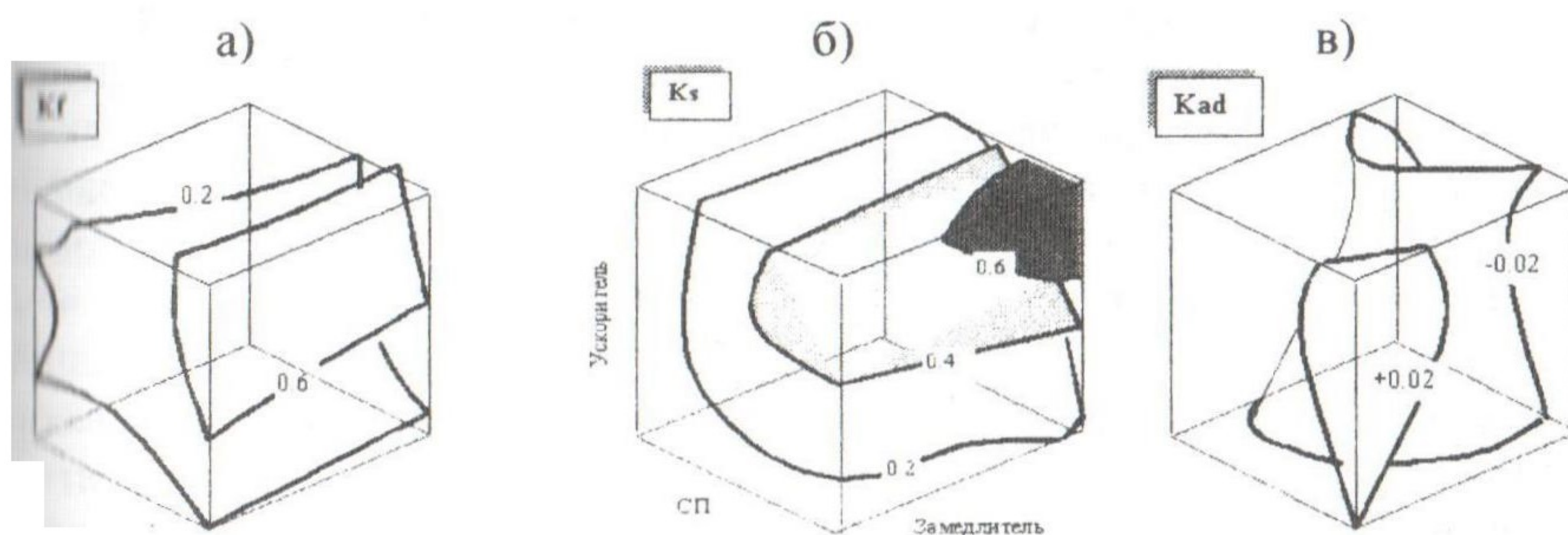


Рис.4. Графические образы моделей K_f (а), K_{ad} (б) и K_s (в)

Анализ изоповерхностей на рис.4.а показывает, что при повышенных концентрациях СП и ускорителя прочность модифицированного композита возрастает на 60 % и более по сравнению с бездобавочным композитом. При этом в области высоких значений X_2 и X_3 замедляющее влияние высоких (в пределах данного эксперимента) концентраций замедлителя снижается.

Параллельно для каждой строки этого плана суммированием значений ΔY для индивидуальных добавок рассчитан показатель «аддитивного влияния» (сумма активности индивидуальных компонентов) как $K_{ad} = \sum \Delta Y$, разделяющий факторное пространство на две части: зона положительных синергетических взаимодействий (ограничена изоповерхностью $K_{ad} = +0,2$) и зона

антагонистических взаимодействий (ограничена седловидной изоповерхностью $K_{ad} = -0,2$).

Показатель «синергетической активности» компонентов $K_s = K_f - K_{ad}$ определен как разность величин фактического эффекта K_f (активность смеси компонентов) и расчетного аддитивного изменения свойства (сумма активности компонентов). Для прочности R_1 он описывается моделью с ошибкой $S_3 = 0,237$, в которую включены дополнительные эффекты:

$$K_s = 0,25 + 0,13x_1 - 0,06x_1^2 + 0,13x_{12} + 0,07x_{23} + 0,18x_2 - 0,10x_{113} + 0,10x_{223} - 0,10x_3 \quad (1)$$

Из графического анализа модели (1) следует, что ускоритель и суперпластификатор, характеризуются положительным влиянием на R_1 в результате изменения кинетики реакций (прочность возрастает более чем в 1,8 раз по сравнению с эталоном), однако замедлитель также может усиливать синергетическую активность компонентов добавки (K_s увеличивается до 0,63). При этом фактический прирост прочности бетона при совмещении всех ингредиентов на 63% выше, чем прогнозируемый по их индивидуальному действию. Дальнейший анализ показал, что растворы с такими концентрациями добавок имеют наибольшую прочность в возрасте 60 дней, что вероятно связано с благоприятным действием добавки X_2 на формирование структуры цементного камня во времени.

Аналогичный анализ моделей K_s , полученных при исследовании различных комплексных добавок [3] позволил установить, что для разных свойств существуют свои синергетические комплексы, а также возможны такие соотношения компонентов добавок (составов, концентраций) при которых достигаются наиболее сильные синергетические взаимодействия.

Технологическая схема (рис.5) предусматривает введение пластификатора и замедлителя непосредственно при приготовлении смеси. В качестве ингредиентов полифункциональной добавки могут использоваться не только импортируемые вещества, но и более доступные индивидуальные добавки, в том числе технические лигносульфонат, кормовая патока.

Внедрение в практику возведения многоэтажных монолитно-каркасных жилых железобетонных зданий добавок уменьшает трудоемкость, повышает производительность бетононасосов и, соответственно, эффективность строительно-монтажных работ.

Использованием прогрессивных технологий при возведении новой архитектурно-конструктивно-технологической системы строительства многоэтажных монолитно-каркасных зданий обеспечивает снижение материалоемкости, стоимости и энергозатрат.

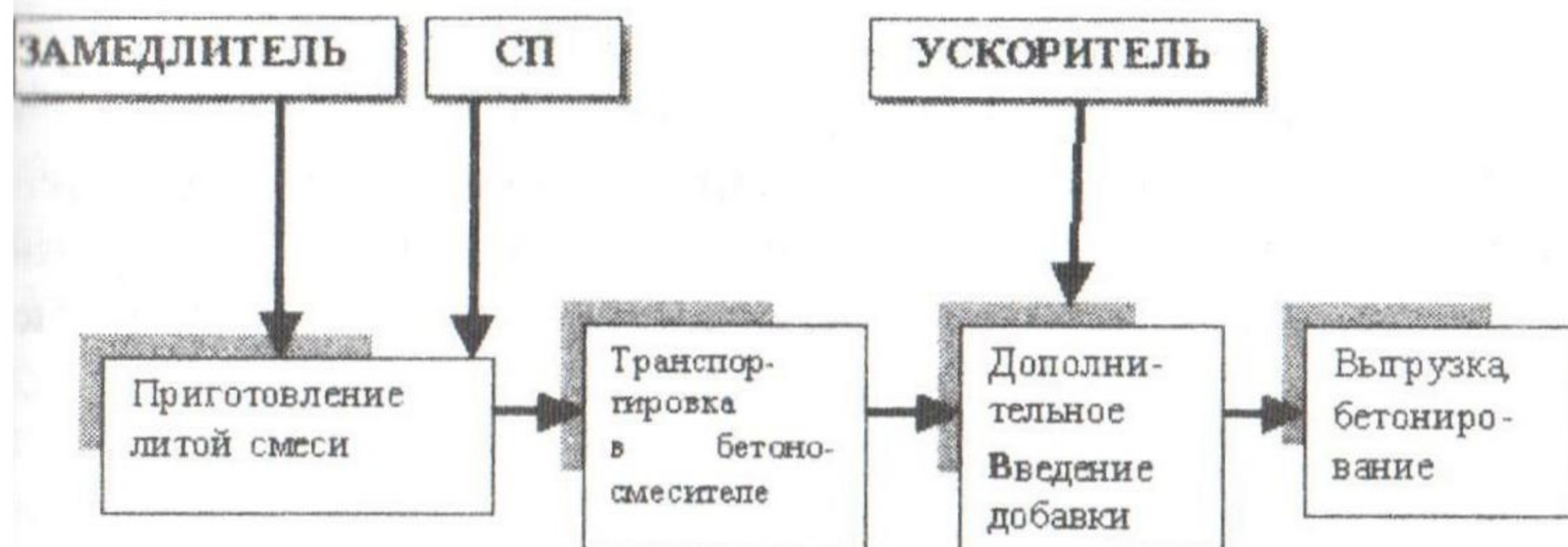


Рис. 5. Технологическая схема поэтапного введения добавок.

Литература

1. Мхитарян Н.М., Бадеян Г.В. Основы технологии монолитного каркасного жилищного строительства. –К.: Наукова думка, 2001. –402 с.
2. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов .М.: Стройиздат, 1988. -304 с.
3. Коваль С.В. Компьютерный анализ синергетических эффектов в системе модифицированного композита // Вісник ДонДАБА (Композиційні матеріали для будівництва). – Макіївка: ДонДАБА, 2000. –Вип. 2000 – 2(22).– С. 8-11.