

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ С УЧЕТОМ ЗИМНИХ УСЛОВИЙ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА

Сапожников В.А., Гофман Е.П., Коваль С.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса, Украина), Бабаевская Т.В. (ООО Будиндустрия, г. Запорожье, Украина)

Показаны особенности и приведены результаты оптимизации состава комплексной добавки «суперпластификатор+ ускоритель» с учетом твердения бетона при температуре $-10 \dots +10^{\circ}\text{C}$.

Одним из главных требований повышения эффективности монолитного домостроения является всесезонность бетонных работ. При отрицательных температурах не прореагировавшая с цементом вода переходит в лед и не вступает в химическое соединение с цементом. В результате этого прекращается реакция гидратации и, следовательно, бетон не твердеет. Одновременно в бетоне развиваются значительные силы внутреннего давления, вызванные увеличением (примерно 9%) объема воды при переходе ее в лед. При последующем оттаивании замерзшая вода вновь превращается в жидкость, и процесс гидратации цемента возобновляется, однако разрушенные структурные связи в бетоне полностью не восстанавливаются.

Как показывает опыт, многие вопросы обеспечения скорости твердения и качества бетона в условиях низких температур могут быть успешно решены с помощью комплексных химических добавок (КХД) которые, в ряде случаев, позволяют отказаться от специальных методов ухода.

Среди многих используемых в технологии бетона добавок, достаточно распространены комплексные добавки системы Релаксол, состоящие из ПАВ и солей- электролитов, рекомендуемые производителями для зимнего бетонирования [1]. Входящие в состав КХД тиосульфат $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и роданид натрия NaCNS хорошо известные и широко используемые продукты, интенсифицирующие твердение и оказывающие противоморозное действие. Установлено [2], что росту степени гидратации и ранней прочности способствует увеличение значения рН, количества ионов Ca^+ , растворимости зерен цемента и образование дополнительных центров кристаллизации новообразований. Анти-

фризные свойства проявляются в снижении температуры кристаллизации льда.

Составы комплексных добавок оптимизируются с учетом условий твердения бетона. Для зимнего периода необходимо создание условий для гидратации цемента и понижения температуры замерзания воды, что достигается за счет повышения содержания электролитов в составе КХД.

Базовым ингредиентом комплексной добавки приняты соли тиосульфатов и роданидов, количество которых изменялось в диапазоне $УТ=X_1 = 80 \pm 20$ м.ч. (следовательно, в оставшейся части комплекса содержание ПАВ изменялось как $СП=X_1=20 \pm 20$ м.ч.). При подстановке в модели $x_1^- = -1$ рассматривалась добавка только солей-электролитов. Общая дозировка КХД изменялась в пределах $D=X_2=0,8 \pm 0,4$ % от массы цемента по сухому в-ву.

Зимние условия начинаются, когда среднесуточная температура наружного воздуха снижается до $+5^\circ\text{C}$, а в течение суток имеет место падения температуры ниже 0°C . Исходя из среднемесячных температур в Одесском регионе выбран исследуемый диапазон температур $X_3=T=0 \pm 10^\circ\text{C}$.

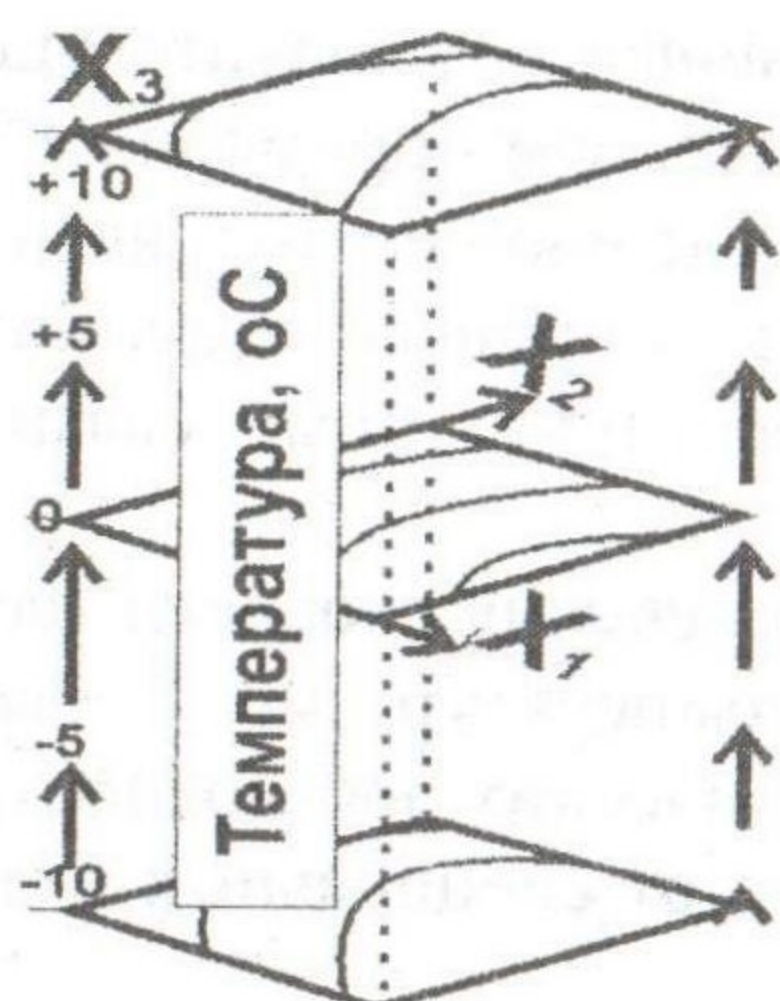


Рис.1. Схема анализа

Условие равноподвижности бетонных смесей ($ОК=14$ см) достигалось за счет корректировки воды затворения. Водосодержание бетонных смесей изменялось от 195 л/м^3 (высокая дозировка КХД и суперпластификатора в ней) до 229 л/м^3 (мало СП и низкая дозировка КХД). В экспериментах использовался цемент Одесского завода ПЦ Ш/ш-400 при его постоянном содержании 450 кг/м^3 . Всего по плану B_2 было изготовлено 9 составов модифицированного бетона, которые направлялись на твердение при $T=-10^\circ\text{C}$, 0°C и $+10^\circ\text{C}$ по алгоритму плана B_3 .

Определение прочности проводилось во времени твердения бетона. Отдельно изготавливались бетонные смеси без добавок, которые, однако, не затвердели при температуре -10°C .

Одним из методических приемов исследования с помощью моделей являлся анализ поля прочности в координатах рецептурного квадрата «дозировка КХД – ускоритель» при перемещении на шкале температуры (рис.1), с целью выбора тех областей рецептурного пространства, в которых обеспечиваются заданные уровни прочности, а сама добавка будет наиболее экономичной.

Так, для бетона в 7-ми суточном возрасте для диапазона температуры твердения $-10...+10$ °С получена трехфакторная модель при ошибке эксперимента $s_3=1,1$ МПа и уровне риска $\alpha=0,2$:

$$R=8,0 + 0,8x_1 + 0,90x_1x_2 + 1,3x_1x_3 + 1,9x_2 + 1,1x_2^2 + 1,3x_2x_3 + 8,0x_3 \quad (1)$$

с максимумом $R_7=23,1$ МПа в точке $x_1=x_2=x_3=1$.

Характер изоповерхностей модели (1) указывает не только на рост прочности с повышением температуры, но и на возможность получения заданной прочности при пониженной температуре твердения бетона за счет повышения количества солей электролита и увеличения концентрации комплексной добавки в бетонной смеси (рис.2а).

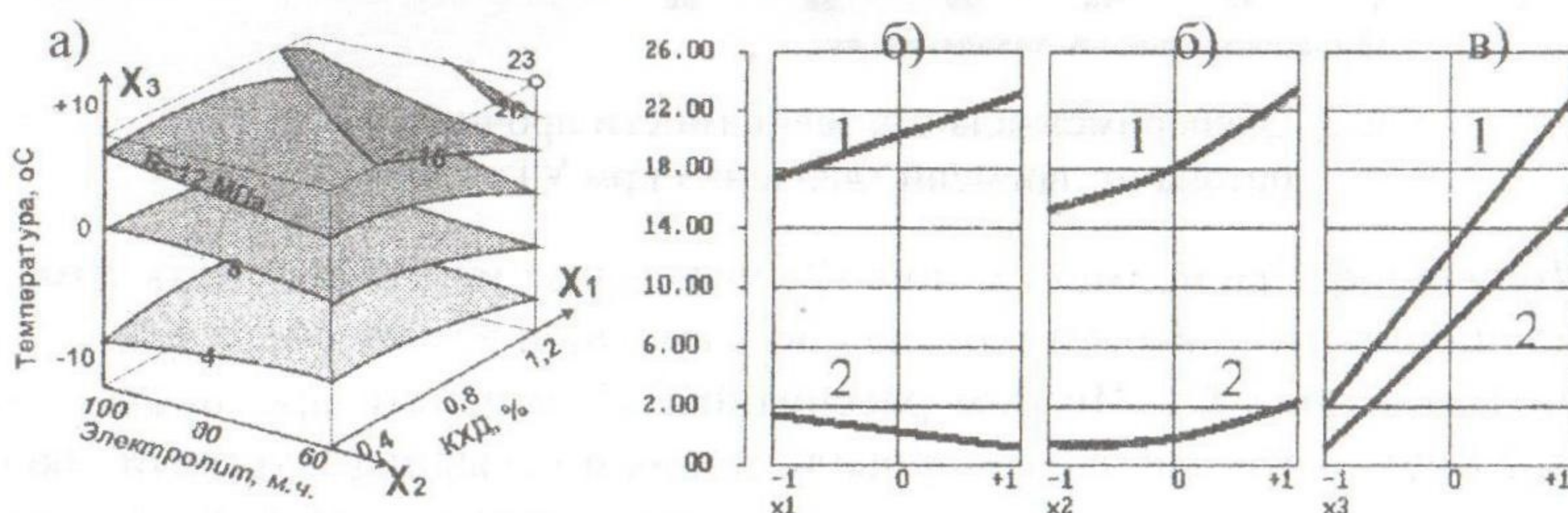


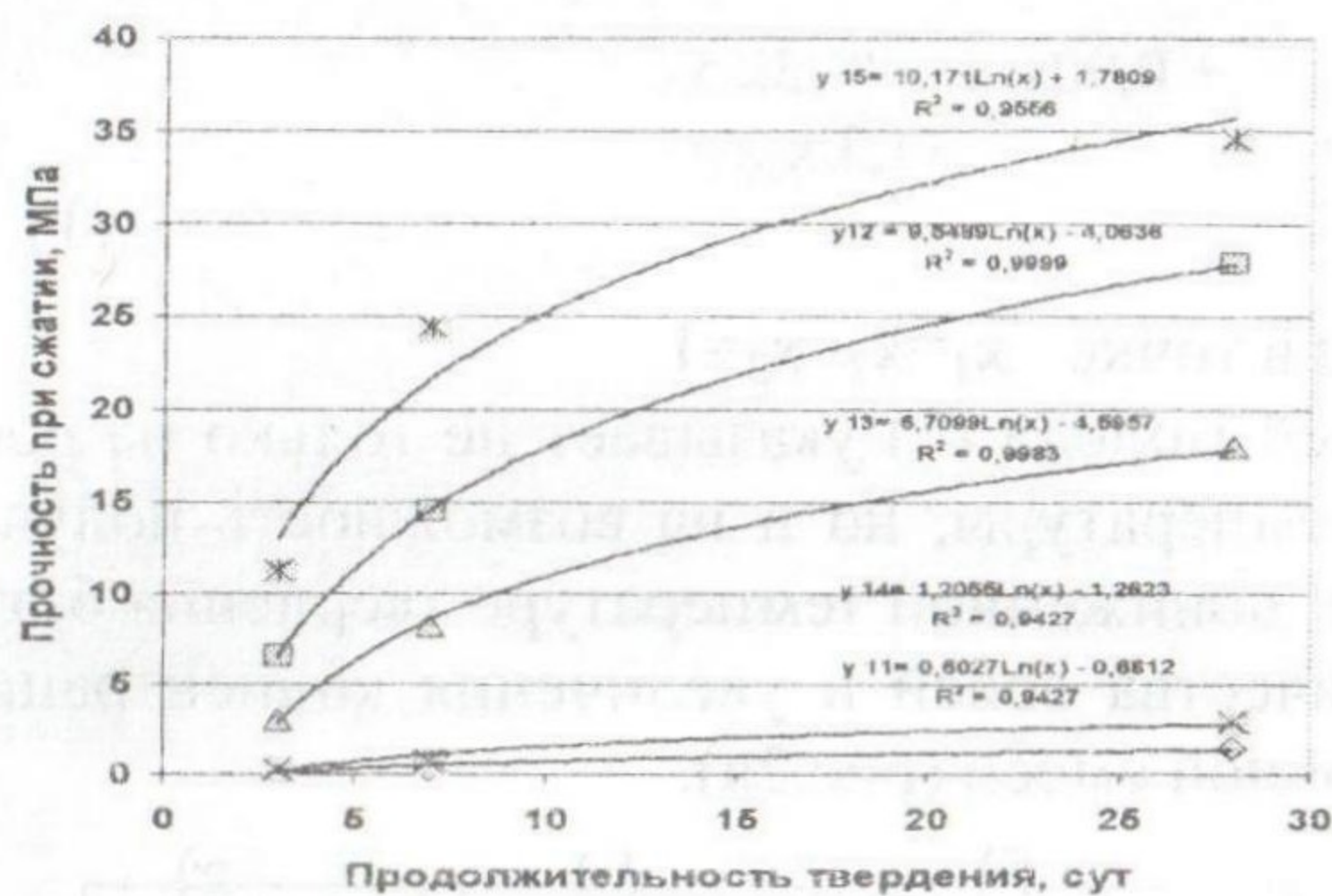
Рис.2. Изоповерхности модели R^7 (а) и влияние факторов в зоне минимума и максимума R (б)

Наиболее объективно иллюстрируют влияния факторов однофакторные зависимости в области минимума и максимума прочности (рис.2б). Так, кривая 1 на рис.2б отвечает случаю повышения содержания солей электролита от 60 до 100 м.ч. в бетоне, твердеющем при $+10$ °С. Кривая 2 строится для низкой температуры (-10 °С) и малого содержания комплексной добавки. Анализ показывает, что во втором случае влияние содержания в КХД ускорителя незначительно, так при таких температурах гидратация цемента не происходит. При температуре $+10$ °С позитивный эффект от увеличения содержания ускорителя меньше, чем от увеличения содержания суперпластификатора, но сопоставим с эффектом от увеличения концентрации КХД от 0,4 до 1,2 %. Сравнение аналогичных зависимостей для других сроков твердения бетона показало, что данная тенденция во влиянии факторов сохраняется.

Кинетика изменения прочности во времени описана (с коэффициентом детерминации $0,94...1,0$) зависимостями вида:

$$R=K_1(\ln t) + K_2, \quad (2)$$

где K_1 – коэффициент, характеризующий темп роста прочности, τ – время твердения в диапазоне 3...27 сут, а – коэффициент, характеризующий степень приращения R .



№	УТ, м.ч.	D, %	T, °C
11	100	0,4	-10
12	100	0,4	+10
13	100	0,8	±0
14	100	1,2	-10
15	100	1,2	+10

Рис.3. Экспериментальные зависимости прочности бетона от времени твердения при УТ=100 м.ч.

Полученные зависимости типа (2) позволили прогнозировать изменение прочности и ввести в исследование новый изменяемый фактор – время твердения (X_4). По ним рассчитаны 45 значений прочности для 3, 9 и 27 сут., которые сформировали полный четырехфакторный эксперимент для построения экспериментально-статистической модели как функции $R=f(X_1, X_2, X_3, X_4)$.

Зависимость прочности от состава (X_1), дозировки комплексной добавки (X_2), температуры (X_3) и времени твердения (X_4) при ошибке $s_3=0,98$ МПа и уровне риска $\alpha=0,2$ имеет следующий вид:

$$R = 10,0 + 0,8x_1 + 0,6x_1x_2 + 1,3x_1x_3 + 0,4x_1x_4 + 1,5x_2 + 1,0x_2^2 + 0,7x_2x_3 + 8,3x_3 - 1,1x_3^2 + 4,5x_3x_4 + 5,9x_4, \text{ МПа.} \quad (3)$$

На основании (3) построены диаграммы для назначения состава комплексной добавки и ее концентрации в бетонной смеси, обеспечивающих заданную прочность бетона, в зависимости от температуры и времени. На рис.4а-в показаны три диаграммы, характеризующие во времени влияние температуры и количества ускорителя на прочность.

Факторное пространство разделяется на две области: 1 – твердение бетона не происходит из-за низкой температуры (в диапазоне -10...-5 °C); 2 – рост прочности бетона (температура выше -5 °C). Так, при необходимости обеспечения прочности не менее 8 МПа для распалубки ненагружаемых конструкций через 3 суток, температура твердения

может быть снижена с +10 °С до 0 °С за счет повышении содержания электролита от 80 до 100 м.ч. в составе комплексной добавки. На девятые сутки твердения эффективность ускорителя заключается в снижении температуры на 6...7 °С, а в 28 суток – на 5...6 °С.

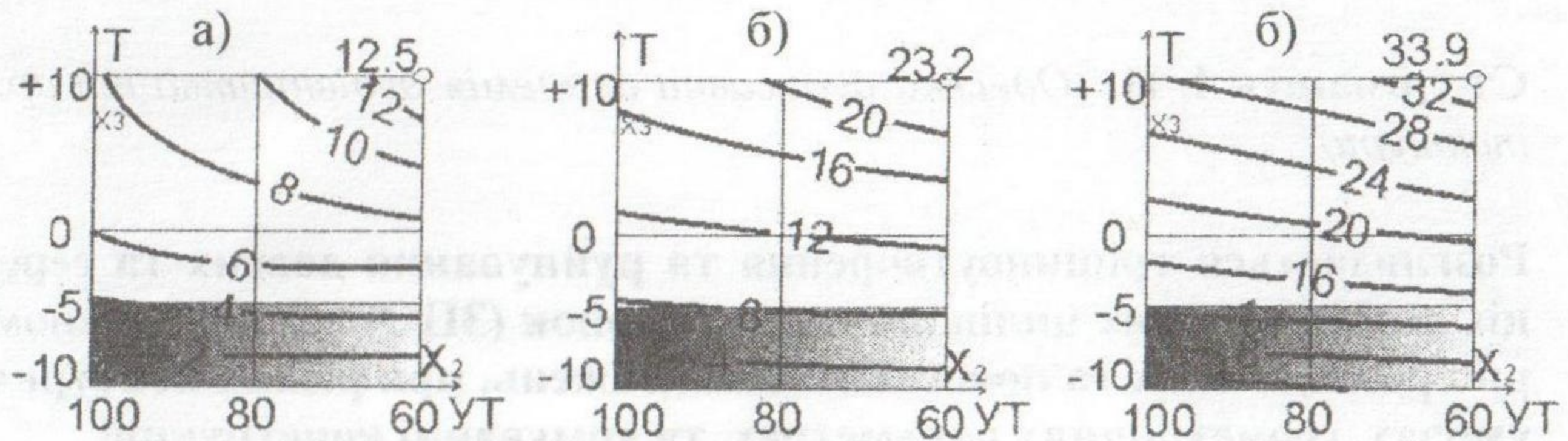


Рис.4. Влияние количества электролита в составе добавки ($D=1,2\%$) в зависимости от температуры и времени твердения бетона (а -3 сут, б -9 сут, в -27 сут)

Выводы

Оптимальный состав и количество комплексной добавки позволяет повысить прочность бетона, твердеющего в условиях пониженных положительных и отрицательных температур. На каждый градус понижения температуры необходимо увеличивать количество электролитов на 2% в составе комплексной добавки (при ее дозировке 1,2%) или повысить содержание КХД на 0,15% от массы цемента. При несоответствии темпа твердения бетона графику производства работ при $T < -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ целесообразно применение бетона с противоморозными добавками в сочетании с выдерживанием его по методу термоса, а так же с электропрогревом (обогревом) уложенной смеси.

Литература

1. Бетоны, строительные растворы, сухие строительные смеси и цементы с добавками системы Релаксол. Справочное пособие. –Запорожье: Будиндустрия, 2007. -48 с.
2. Бетони, модифіковані комплексними поліфункціональними додатками, для будівельних робіт в зимових умовах / М.А.Саницький, У.Д.Марушак, Т.В.Бабаєвська и др. //Мат-лы межд.конф. “Химические и минеральные добавки в цементы и бетоны”. -Запорожье: Будиндустрия, 2002. -С.130-134.