

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБАВОК ДЛЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА МЕТОДОМ ПЛАСТОМЕТРИИ

Коваль С.В., д.т.н., проф., Сапожников В.А., Гедулян С.И.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г.Одесса*

Четко выраженной тенденцией в монолитном домостроении является повышение подвижности бетонных смесей, вплоть до высокоподвижных и литых, а также способных к самоуплотнению [1, 2]. Этому способствует расширение номенклатуры и повышение эффективности суперпластификаторов. Необходимость повышения подвижности бетонных смесей определяется высоким насыщением арматурой конструктивных элементов, усложнением конфигурации конструкций, необходимостью увеличения межремонтного периода работы бетононасосов и др. Возможность снижения водопотребности бетонных смесей при обеспечении требуемой подвижности позволяет уменьшить затраты рабочей силы, снизить расход цемента и энергии (например, на обогрев в зимний период), сократить времена оборачиваемости опалубки и высвобождения площадей, более быстро монтировать конструкции, способствует более быстрой передаче напряжения на бетон при предварительно напрягаемом армировании.

Одна из инженерных задач в технологии монолитного строительства – *сохранение технологических свойств бетонных смесей до времени их укладки в конструкцию* (это время целесообразно увеличивать) *при обеспечении заданной кинетики твердения бетона в конструкции* (начало этого периода целесообразно сокращать). Поставленная задача, несмотря на свою кажущуюся простоту, отнюдь не легко разрешимая традиционными средствами и требует тщательного подбора химических и минеральных добавок, действующих в комплексе [2].

При введении суперпластификатора в бетонную смесь формирование структуры цементного камня отодвигается. Это обстоятельство существенно влияет на технологию производства работ. С другой стороны, понижение водоцементного отношения ускоряет набор прочности. Для сохранения пластичного состояния бетонной смеси в период ее транспортирования до строительного объекта бетонная смесь должна иметь *минимальную структурную прочность*, что определяется свойствами цементной матрицы бетона. С другой стороны, удлинение вре-

мени твердения бетона положительно сказывается на уменьшении термических напряжений, возникающих вследствие тепловыделения цемента, что также приводит к снижению усадки.

Ускорение твердения бетона, связанное с *повышением структурной прочности* его матричной составляющей, определяет сокращение времени оборачиваемости опалубки и высвобождения площадей, более быстрый монтаж конструкций, способствует более быстрой передаче напряжения на бетон при предварительно напрягаемом армировании. С позиций наличия этих двух разнонаправленных процессов можно судить о совместимости портландцемента и добавок, под которой понимается (для монолитного строительства) *способность добавок и цементов обеспечивать длительное время сохранность бетонной смеси при обеспечении заданной кинетики твердения бетона в конструкции с учетом влияния различных рецептурных и технологических и климатических факторов.*

В этой связи целесообразной является *разработка простых методов оценки эффективности и совместимости добавок* на базе кинетики структурообразования цементной матрицы, определяющей реологические и структурно-механические свойства всего бетона.

Процессструктурообразования дисперсных систем в начальные сроки твердения наглядно отображается кривыми, которые показывают изменение предельного напряжения сдвига в системе во времени. Точка перегиба на кривых — момент перехода системы от периода замедления к периоду начала ее упрочнения. Проследив по этим кривым за изменением, происходящим в начальные сроки твердения (в зависимости от характера вяжущего, водоцементного отношения, вида и количества добавок), можно направленно воздействовать на процесс структурообразования бетонов и формирования их свойств.

В исследования включены портландцементы, отличающиеся минералогическим и гранулометрическим составом: цемент ПЦ I 500 (обозначен как Ц₁) Одесского завода, наиболее распространенные в монолитном домостроении цементы класса ПЦ II/A–Ш-400Ц Одесского (Ц₂), Здолбуновского и К-Подольского заводов (Ц₃, Ц₄).

Бетонные смеси в присутствии суперпластификаторов и пониженным В/Ц способны достаточно быстро терять подвижность во времени (рис. 1а) и быстро набирать прочность (рис. 1б). Критерий «жизнеспособности» рассчитывался как время τ_n , за которое осадка конуса бетонной смеси снижается от исходной ОК=18 см до 14 см (т.е. до такого времени, когда смесь перестает отвечать требованиям к качественной укладке в конструкции). Опыты показали, что сохранность смеси зависит как от вида добавок, так и цемента (Ц₁...Ц₄).

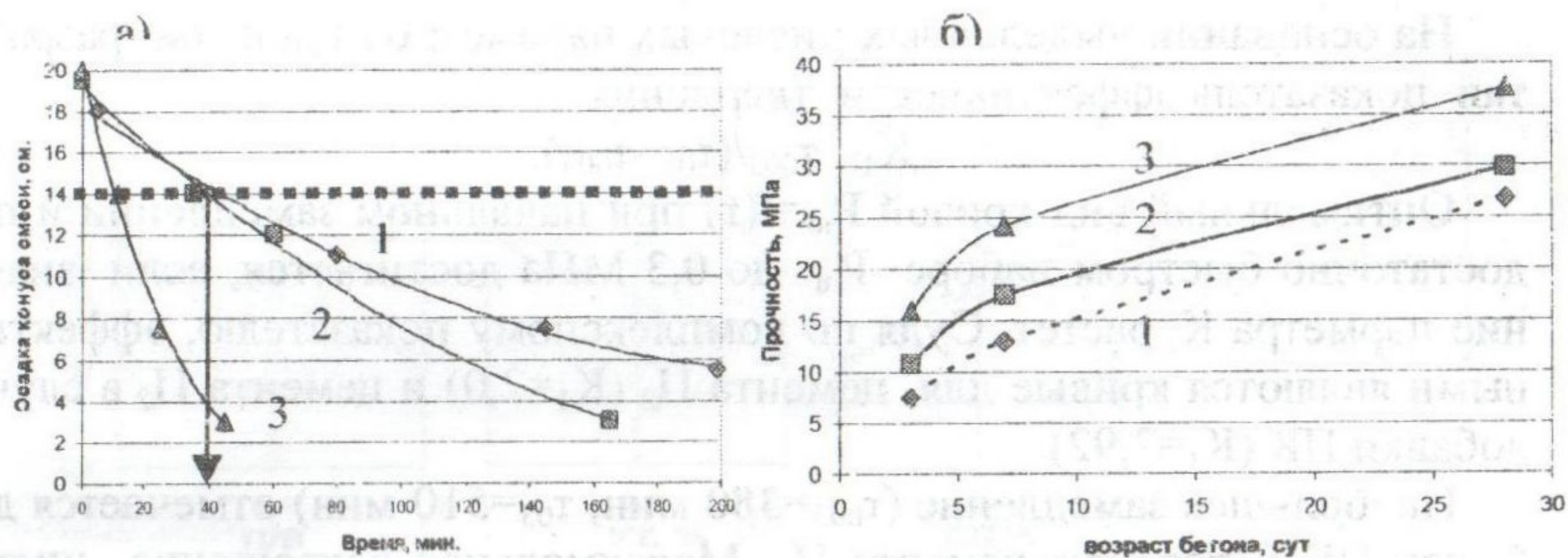


Рис.1. Изменение подвижности смеси (а) и кинетика роста прочности бетона (б): 1-без СП, 2 -0,3 %; 3- 0,6 % ($H=15\%$, $\rho=410 \text{ кг/м}^3$)

Результатом химических реакций являются физические процессы структурообразования, взаимосвязанные с такими характеристиками, как подвижность бетонной смеси и ранняя прочность бетонов. Следовательно о влиянии добавок с позиций поставленных задач можно судить по кинетике роста пластической прочности P_m композиций (рис.2).

— время τ_2 достижения пластической прочности $P_m=0,3 \text{ МПа}$ (характеризует этап роста структурной прочности, а в технологии — потерю смесью подвижности и начало твердения).

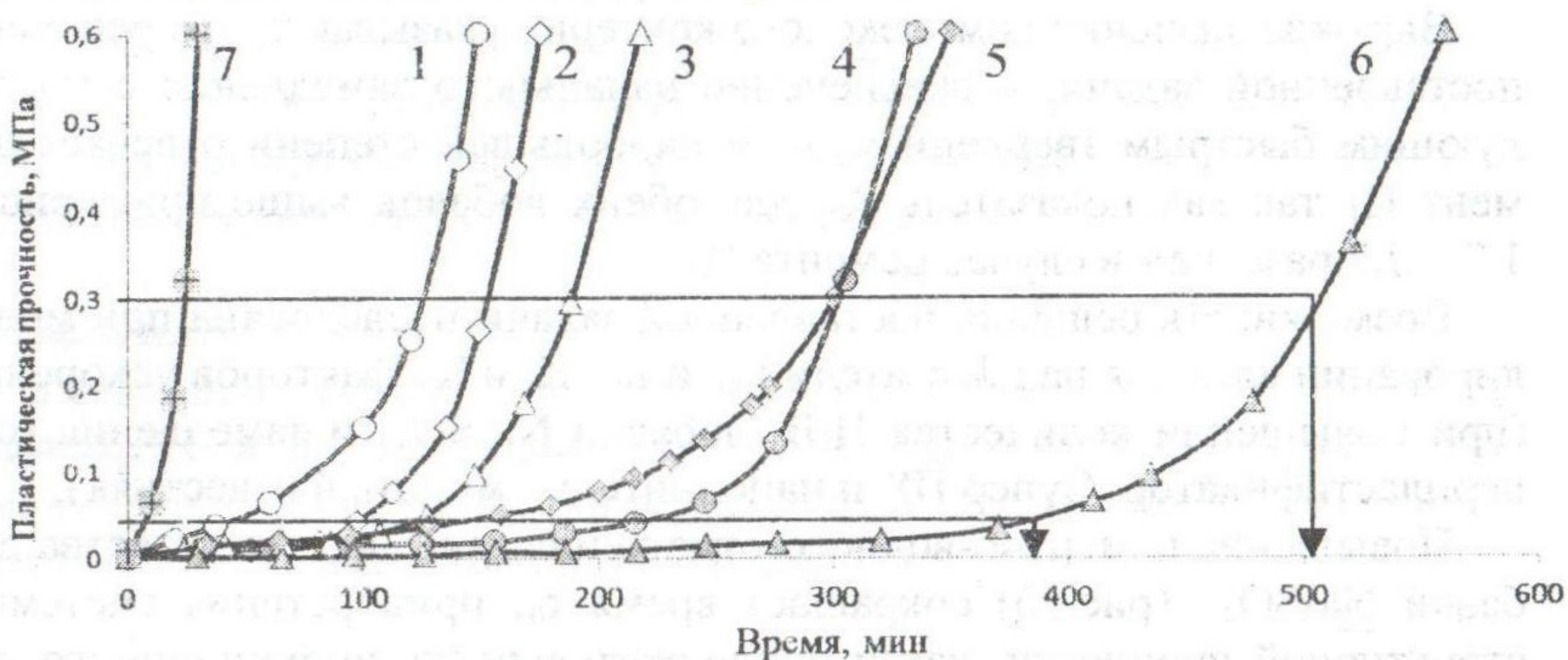


Рис.2. Зависимости пластической прочности при изменении вида цемента и добавок: 1 — Ц_1 ; 2 — $\text{Ц}_1+0,4\% \text{ С-3}$; 3 — $\text{Ц}_1+0,2\% \text{ РК}$; 4 — Ц_2 ; 5 — $\text{Ц}_2+0,4\% \text{ С-3}$; 6 — $\text{Ц}_2+0,2\% \text{ РК}$; 7 — $\text{Ц}_1^*+0,2\% \text{ РК}$

Кривые $P_m=f(\tau)$ охарактеризованы числовыми параметрами:

— время τ_1 сохранения цементной пастой пластической прочности не более $P_m=0,03 \text{ МПа}$ (косвенно характеризующей состояние, при котором смеси сохраняют свою подвижность);

На основании выделенных числовых параметров τ_{003} и τ_{03} разработан показатель эффективности твердения:

$$K_1 = \tau_{003} / (\tau_{03} - \tau_{003}). \quad (1)$$

Оптимальный вид кривой $P_m = f(\tau)$ при начальном замедлении и при достаточно быстром наборе P_m до 0,3 МПа достигается, если значение параметра K_1 растет. Судя по комплексному показателю, эффективными являются кривые для цемента Ц₂ ($K_1 = 2,0$) и цемента Ц₂ в случае добавки ПК ($K_1 = 2,92$).

Наибольшее замедление ($\tau_{003} = 380$ мин, $\tau_{03} = 510$ мин) отмечается для Супер ПК и портландцемента Ц₂. Максимальное сокращение индукционного периода и повышения второго уровня пластической прочности $P_m = 0,3$ МПа соответствует «чистому» портландцементу Ц₁.

На основании параметров τ_{003} и τ_{03} рассчитаны критерии, указывающие на удлинение или сокращение времени достижения заданной пластической прочности цементной пасты с добавкой (Д), относительно без добавок (Э):

$$k_1 = \tau_{003}^D / \tau_{003}^Э, \quad (2)$$

$$k_2 = \tau_{03}^D / \tau_{03}^Э. \quad (3)$$

Комплексный критерий оценки добавок, с учетом коэффициента весомости β_1 [4] каждого параметра, рассчитан как:

$$K_2 = \beta_1 k_1 + \beta_2 (1/k_2). \quad (4)$$

Высокие значения комплексного критерия указывают, что решению поставленной задачи, – обеспечение начального замедления с последующим быстрым твердением, – в наибольшей степени отвечает цемент Ц₁, так как показатель K_2 для обеих добавок выше примерно в 1,7...2,2 раза, чем в случае цемента Ц₂.

Возможность решения поставленной задачи исследована при моделировании влияния на показатели τ_{003} и τ_{03} , K_1 и K_2 факторов ускорения (при повышении количества Ц/В, добавки Na_2SO_4) и замедления (суперпластификатор Супер ПК и наполнитель – молотый известняк).

Повышение цементно-водного отношения (рис.3а) и количества добавки Na_2SO_4 (рис.3б) сокращает время τ_{03} приобретения системой структурной прочности, как и продолжительность индукционного периода (что определено по критерию τ_{003}). Рост количества ПАВ (рис.3в) при постоянном Ц/В замедляет твердение, а наполнителя (рис.3г) – может как ускорять, так и замедлять этот процесс в зависимости от уровней других факторов.

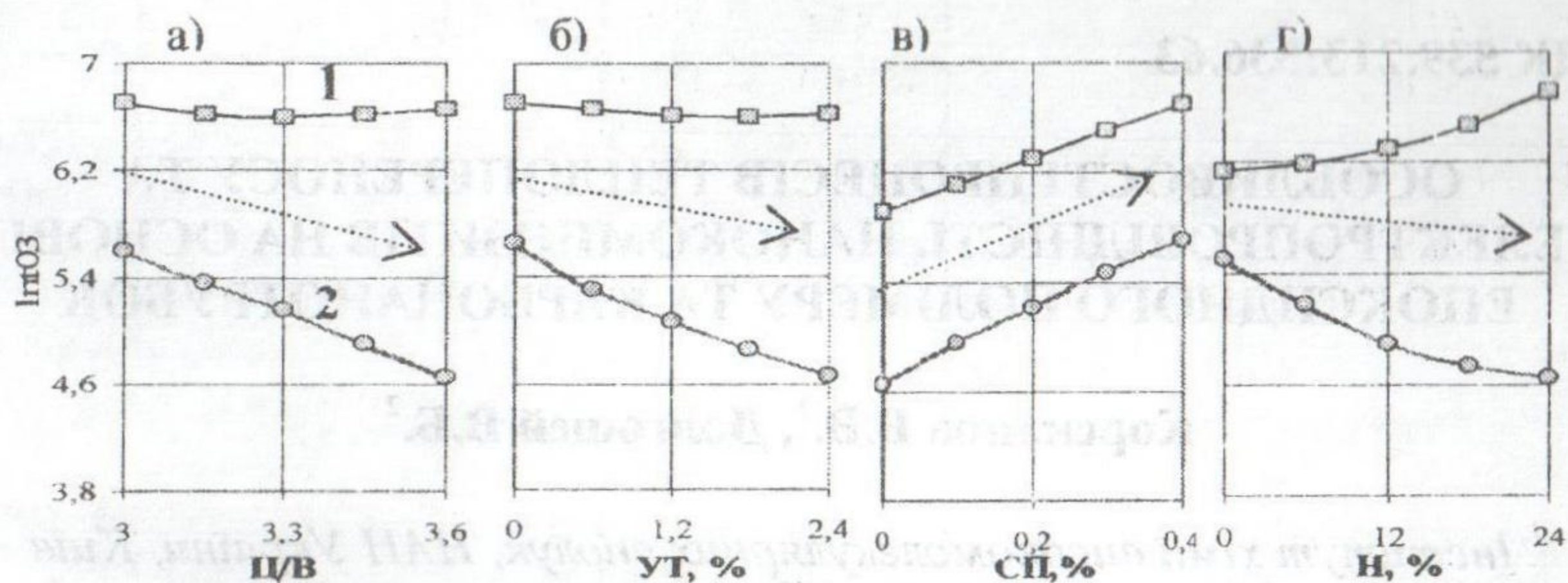


Рис.3. Влияние Ц/В (а), количества Na_2SO_4 (б), суперпластификатора (в) и наполнителя (г) на время достижения $P_m=0,3$ МПа зоне максимума (кривая 1) и минимума (кривая 2) параметра $\tau_{0.3}$

Наиболее эффективный характер кривой, судя по критерию K_1 , формируется за счет добавок СП=0,2%, УТ=1,2 %, Н= 12% и Ц/В=3,3.

Выводы

Разработан способ определения эффективности добавок для монолитного строительства на основе анализа кинетических зависимостей пластической прочности цементных паст как матричной составляющей бетонов, в том числе, параметры периодов твердения, критерий кинетики упрочнения системы и показатели эффективности добавок. Показано, что варьируя составом и дозировками комплексной добавки можно «проектировать» кинетику твердения бетона.

Summary

There are methods and the results of assessing the impact of plasticizers and other additives on the growth kinetics of plastic strength of cement paste, corresponding to the change in time of the mobility of concrete mixes and early hardening of concrete.

Литература

1. Сапожников В.А., Модифицирование бетона как фактор эффективности монолитного домостроения //Вісник ОДАБА.–Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2008. –№ 39. –С.235-240.
2. Коваль С.В. Моделирование и оптимизация состава и свойств модифицированных бетонов. –Одесса: Астропринт, 2012. –424 с.
3. Гранковский И.Г. Структурообразование в минеральных вяжущих системах. –К: Наукова думка, 1984. –300 с.
4. Коваль С.В., Сапожников В.А. Оценка эффективности добавок с учетом квалиметрических показателей качества монолитного бетона //Вісник ОДАБА.–Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2011. –№43. –С.181-185.