

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВА НА КИНЕТИКУ ВЛОГОПОТЕРЬ РЕМОНТНОГО РАСТВОРА

Фатнан Исмаил Салех, Коваль С.В.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

**Актуальность.** Работы в области создания и исследования эффективных и экономичных полимерцементных составов для ремонта бетонных дорог, конструкций общетехнического и специального назначения обоснованы в условиях Ирака необходимостью выполнения большого объема работ по восстановлению разрушенных строительных объектов.

Эффективная работа полимерцементных растворов осложняется воздействием климатических факторов – высокой температурой и низкой влажностью окружающей среды. С другой стороны требуются специальные технологические решения, позволяющие учесть поврежденность строительных объектов в результате специфики повреждений. Таким образом, разработка полимерцементных растворов в условиях Ирака должна включать решения, способствующие, при обеспечении заданных реологических и физико-механических свойств, улучшение сцепления с основанием, повышение проникающей способности в трещины поврежденной конструкции, замедление влагопотерь растворов как на стадии технологической переработки смесей, так и в процессе начальной работы в конструкции (для уменьшения усадки и создания нормальных условий гидратации).

Для создания совместимых (в технологическом и физико-химическом плане) полимерцементных растворов с поверхностью бетона железобетонных конструкций целесообразно введение комплексных добавок, содержащих полимерные и минеральные компоненты, выполняющие соответствующие функции [1].

**Цель** настоящего исследования – оценка влияния факторов состава ремонтного раствора на влагопотери при твердении в условиях повышенных температур.

**Методика.** Водосодержание, плотность и прочность раствора регулировались содержанием суперпластификатора ( $СП=X_1=0,4\pm 0,4\%$ ). В качестве одного из факторов, влияющих на процессы влагопереноса и внутренние напряжения в системе [2] исследовались параметры зернового - объемное содержание в смеси заполнителей песка крупной

фракции (фр.1,2-2,5 мм) в диапазоне изменения  $X_2 = 20 \pm 20$  % от объема рядового песка (фр.0,15-0,3 мм) и пористого керамзитового песка фр.1,2-2,5 мм ( $X_3 = 5 \pm 5$  %). Подвижность раствора, определенная с помощью конуса Хагермана, фиксировалась на постоянном уровне ( $D = 16$  см).

Влагопотери твердеющего раствора определялись при высушивании ( $T = 50 \pm 1^\circ\text{C}$ ) образцов цементно-песчаного раствора, уложенного в полиэтиленовые стаканы, рассчитывались как:

$$W_t = (m_0 - m_t) / m_0, \quad (1)$$

где  $m_0$  – масса раствора перед высушиванием,  $m_t$  – масса раствора после контрольного срока высушивания, гр.

Опыты поставлены D-оптимальному плану. Всего построено 15 кривых изменения влагопотерь во времени (подобных кривым на рис.1).

**Экспериментальная часть.** Анализ указывает, что снижение общего количества воды за счет введения суперпластификаторов приводит к уменьшению влагопотерь бетонной смеси. Не отмечено прямой зависимости между водосодержанием смесей и влагопотерями. В то же время существует четкая зависимость между составом песка и влагопотерями твердеющего раствора (рис.1)

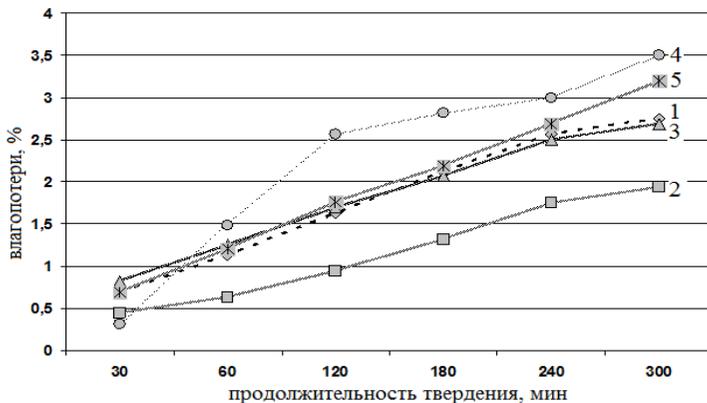


Рис.1. Влияние на кинетику влагопотерь твердеющего раствора состава песка: 1 – 100% мелкий кварцевый; 2 – 60% мелкий + 40% крупный кварцевый; 3 – 75% мелкий + 20% крупный + 5% керамзитовый; 4 – 90% мелкий + 10% керамзитовый; 5 – 50% мелкий + 40% крупный + 10% керамзитовый.

Анализ кинетики  $W_t$  подтвердил положение о том, что процесс испарения влаги из свежееотформованного раствора имеет два периода, характеризующихся постоянной и падающей интенсивностью испарения [3].

В начальный период (постоянная и максимальная величина интенсивности испарения) выход влаги не лимитируется внутренним массопереносом и зависит от разности парциального давления пара у поверхности раствора и в окружающей среде [3]. При достижении определенной влажности наступает период падающей интенсивности испарения, ограниченный внутренним массопереносом и характеризующийся углублением зоны испарения и обезвоживанием образца раствора от периферии к центру.

Изменение влагопотерь во времени  $\tau$  (мин) в период  $1 \leq \tau < 7$  час с остаточной дисперсией менее 10% и коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,97...0,99$  описано зависимостью:

$$W_t = K_0 \cdot \tau^{K_1} \cdot e^{K_2}, \quad (2)$$

где  $K_0$  – влагопотери твердеющего раствора через 1 час выдержки;

$K_1$  – коэффициент повышения скорости влагопотерь во времени;

$K_2$  – коэффициент замедления скорости влагопотерь во времени.

Сравнительный анализ коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  в обобщенной форме позволяет судить об особенностях влияния факторов состава на кинетику потери влаги из твердеющего раствора.

Для всего диапазона исследуемых составов при изменении вида добавки коэффициент  $K_0$  изменяется от 0,13 до 1,58 (т.е. в 12,6 раз), коэффициент «ускорения»  $K_1$  – от 0,3 до 2,1 (практически в 7 раз), коэффициент «замедления»  $K_2$  – от -0,49 до +0,22, что говорит о существенном и разнонаправленном влиянии состава раствора на кинетику влагопотерь.

**Обсуждение результатов.** Для каждого из коэффициентов, входящих в зависимость (2), обобщающую эмпирические кривые влагопотерь твердеющего раствора  $W_t$ , построен комплекс экспериментально-статистических моделей, описывающих влияние трех факторов состава на параметры  $K_0$ ,  $K_1$  и  $K_2$ .

Так, зависимость начальных влагопотерь для цементно-песчаного раствора, модифицированного добавкой, с ошибкой  $s_3=0,167$  имеет после лагарифмического преобразования вид:

$$K_0 = -0,26 - 0,30x_1 \quad . \quad - 0,12x_1x_2 \quad - 0,21x_1x_3 \\ - 0,36x_2 \quad - 0,13x_2^2 \quad \quad \quad + 0,08x_2x_3. \\ + 0,21x_3^2 \quad . \quad (3)$$

Модель характеризуется максимумом  $K_{0,max}=1,51$  ( координаты  $x_1=-1$ ,  $x_2=-0,60$ ,  $x_3=+1$ ) и минимума  $K_{0,min}=0,52$  ( $x_1=+1$ ,  $x_2=+1$ ,  $x_3=+0,31$ ). При переходе к натуральным переменным, состав, минимизирующий начальные влагопотери, определяется как: СП=0,8 %, 40% кварцевого крупного песка в смеси с мелким, 6,2 % керамзитового песка.

На основании модели (3) построены и исследованы на рис.2а зависимости влияния факторов в зоне максимума (кривая 1) и минимума (кривая 2) водопотерь.

На рис.2а показаны зависимости влияния факторов состава на коэффициент  $K_0$ , указывающий на начальные влагопотери раствора в зоне максимума и минимума начальных влагопотерь. В данном случае «хорошей» может считаться рецептура минимизирующая влагопотери (координаты факторов закреплены в зоне минимума  $K_0$ ). Начальные влагопотери снижаются при повышении содержания суперпластификатора, редуцирующего воду при сохранении на постоянном уровне подвижности раствора.

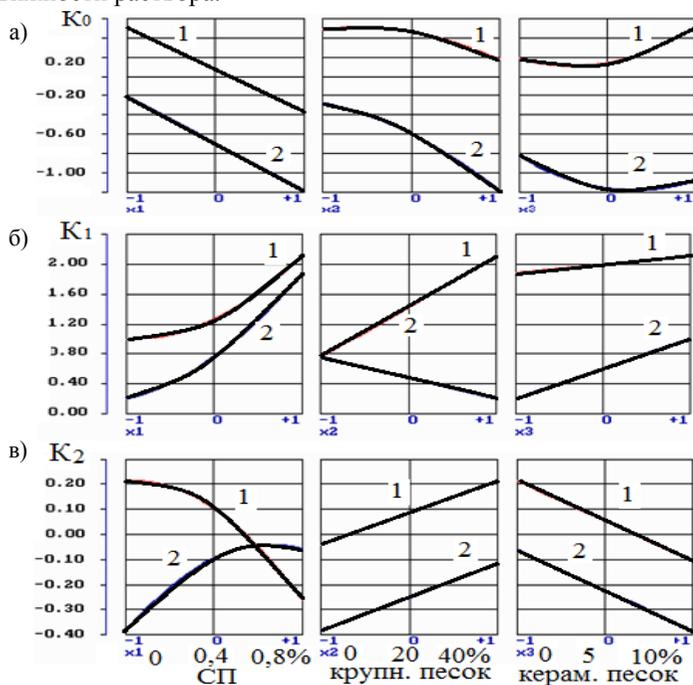


Рис.2. Влияние факторов состава раствора на параметры:  
 а – влагопотери через 1 час ( $K_0$ );  
 б – ускорение скорости влагопотерь ( $K_1$ );  
 в – замедление скорости влагопотерь ( $K_2$ )

Сокращает начальные влагопотери повышение крупности песка, так как уменьшается количество воды в растворе, по сравнению с мелким песком, адсорбирующем на себя большее количество воды. С повышением количества керамзитового песка более чем на 5 % начальные влагопотери возрастают так как аккумулированная в пористой структуре избыточная вода не удерживается в зерне, выходит на поверхность и быстро испаряется. Также необходимо учитывать и повышенное количество воды в растворе с введением пористой добавки.

Судя по зависимостям коэффициента  $K_1$  (рис.2б), введение суперпластификатора приводит к снижению роста скорости влагопотерь (кривая 1). Однако в случае неоптимального состава скорость может возрасти (кривая 2), в связи с понижением поверхностного натяжения на границах «жидкость-твердое тело», выделением воды на поверхности раствора из-за седиментации. Рост  $K_1$  при увеличении количества крупного песка, вероятно, связан и с тем, что крупный песок не может удерживать адсорбированную воду в такой же степени, как и мелкий песок, обладающий большей удельной поверхностью.

На показатель  $K_2$  снижения темпа влагопотерь во времени (рис.2в) в значительной степени оказывает влияние содержание суперпластификатора. Сведение суперпластификатора требует внимательного отношения к гранулометрическому составу и пористости мелкого заполнителя при проектировании составов ремонтного раствора. Повышение содержания крупного песка однозначно вызывает рост показателя замедления (что может быть связано также с уменьшением общего содержания воды в растворе), а керамзитового песка – его увеличение.

Введение керамзитового песка в малых количествах наиболее эффективно с позиций снижения начальных влагопотерь. С точки зрения других коэффициентов из зависимости (3), при повышении количества пористого песка скорость влагопотерь в процессе дальнейшего твердения полимерцементного раствора возрастает. Это свидетельствует о «подпитке» цементной матрицы раствора новыми порциями выделяющейся воды, что должно способствовать продолжению гидратации и уменьшению аутогенной усадки [4], а с другой – о возможности появления влажностных градиентов в твердеющей системе и понижения прочности раствора.

## ***Выводы***

Водоредуцирование смесей с помощью суперпластификатора, регулирование крупностью кварцевого песка и введение в оптимальных количествах пористого приводит к уменьшению влагопотерь в начальный период твердения раствора, что способствует уменьшению усадки.

## **SUMMARY**

**Using experimental statistical models for the analysis of influence of composition factors of the repair mortar (type and quantity of sand, chemical additives dosage) on the kinetics of loss of moisture at high temperatures.**

## ***Литература***

1. Czarnecki L., Emmons P. Naprawa i ochrona konstrukcyj betonowych. Kraków, 2002. – 434 s.
2. Бабков В.В. Физико-механические аспекты оптимизации структуры цементных бетонов. Автореф. дисс... докт. техн. наук .05.23.05., Л., ЛИСИ, 1990. –43 с.
3. Миронов С.А., Малинский Е.Н. Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата. М.: Стройиздат, 1989. 144 с.
4. Ковлер К., Йенсен О.М., Фаликман В. Как сделать хороший бетон еще лучше?// Технологии бетонов №1/2005.