

УДК 691.175:519.2

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА КИНЕТИКУ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИТА

Гаря А.А., Ляшенко Т.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры), Шаршунов А.Б. (Институт гидротехники и мелиорации Украинской академии аграрных наук, Киев)

Для 27 композиций (по плану эксперимента) кинетика водопоглощения описана экспоненциальными функциями. Параметры кинетики проанализированы по ЭС-моделям в зависимости от факторов состава.

Для защиты работающих в контакте с водой бетонных поверхностей сооружений мелиорации необходимы материалы повышенной стойкости. Такие материалы нужны и для ремонтно-восстановительных работ, в которых нуждается большинство гидротехнических сооружений мелиорации, эксплуатируемых на Украине многие десятилетия. По комплексу свойств [1] выполнению этих работ могут соответствовать полимеррастворы, в частности, на основе эпоксидных смол.

Длительная эксплуатация полимерных композиционных материалов, при постоянном или периодическом контакте с агрессивной средой (водой), как правило, приводит к изменениям их свойств. Адсорбционно-активные среды, проникая в композит за счет диффузии и молекулярного переноса по дефектам структуры, способствуют повышению подвижности структурных элементов, снижают прочность межмолекулярных связей и облегчают тем самым «проскальзывание» молекулярных цепей и молекулярных образований относительно друг друга, что проявляется в снижении энергии, необходимой для разрушения материала [2].

Регулировать свойства, повышать стойкость и долговечность композитов позволяют органические и минеральные модификаторы структуры. Улучшению свойств эпоксидных композиций на смоле «Макро», для защиты и ремонта бетонных элементов гидромелиоративных сооружений, способствует введение определенных дозировок молотого цеолита и фурфурола (патент Украины №5408). В частности, оценена [3] позитивная роль цеолита в снижении водопоглощения.

Исследования этих композиций продолжены в расширенной

области составов [4]. В эксперименте по пятифакторному плану варьировалось содержание компонентов дисперсной системы: количество минерального каркаса (песок до 0.3 мм + наполнитель, м.ч. на 100 м.ч. эпоксидной смолы «Макро») – степень наполнения  $X_1 = 280 \pm 100$  м.ч.; массовая доля наполнителя в каркасе (диабаза с удельной поверхностью  $S = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$  + цеолита)  $X_2 = 0.6 \pm 0.3$ ; доля цеолита в наполнителе (мелкого,  $S = 300$ , и крупного, до 0.3 мм)  $X_3 = 0.15 \pm 0.1$ , доля крупной фракции в цеолите  $X_4 = 0.25 \pm 0.25$ , дозировка фурфурола (м. ч. на 100 м. ч. смолы)  $X_5 = 7 \pm 5$ .

План позволял построить и проанализировать ЭС-модели второго порядка для свойств полимерраствора в зависимости от пяти факторов состава, нормируемых к  $|x_i| \leq 1$ .

Среди других характеристик, определенных для 27 композиций, водопоглощение  $W$  (%) через 1, 3 и 6 месяцев ( $\tau = 30, 90, 180$  суток) пребывания в воде. По этим данным для каждой композиции удалось получить (с приемлемой ошибкой) аналитические зависимости  $W$  от

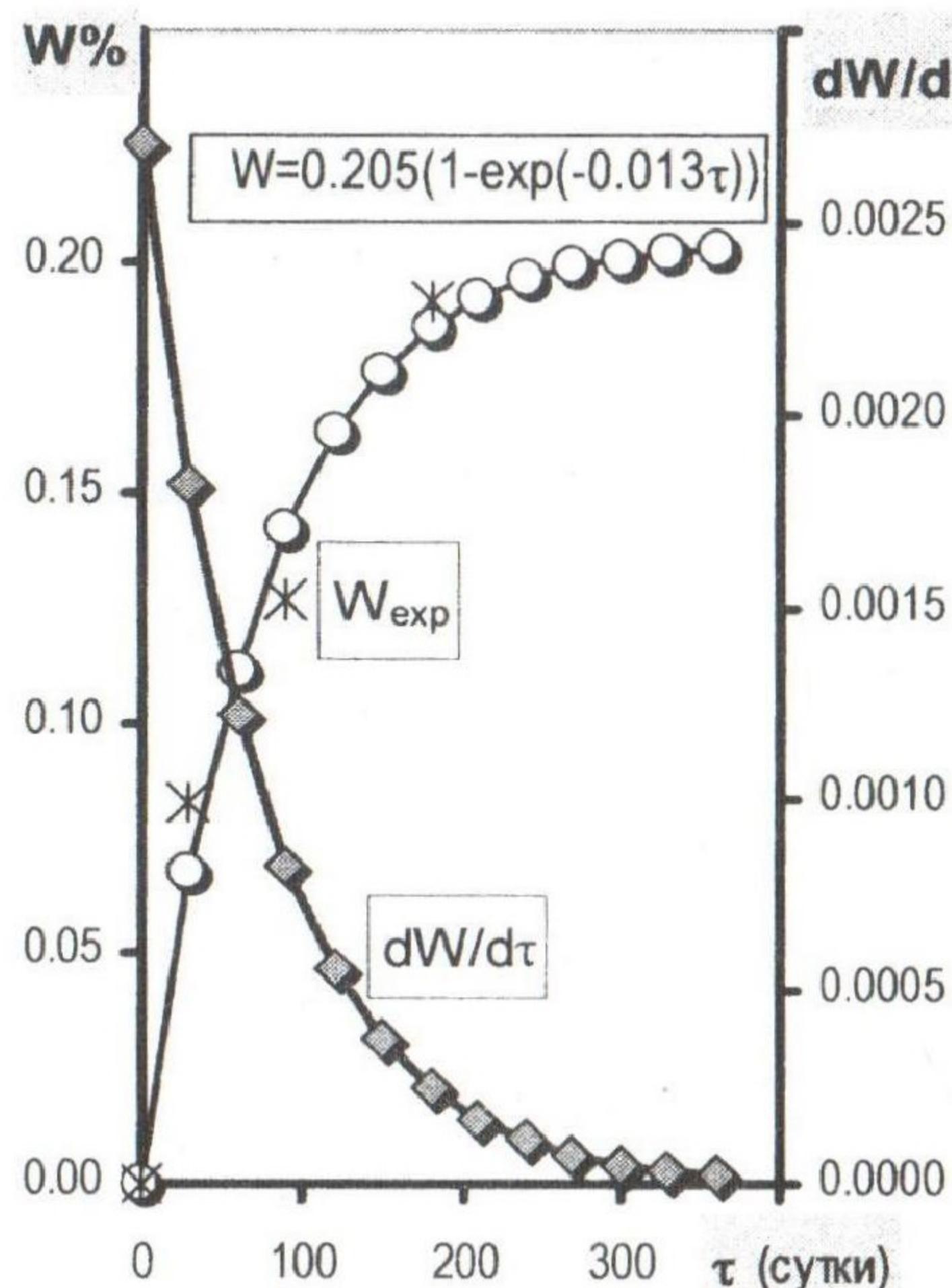


Рис. 1. Кривые водопоглощения и скорости поглощения для центрального состава

времени  $\tau$  одного и того же экспоненциального вида (1) и соответствующие уравнения скорости водопоглощения (2). На рис. 1 такие зависимости показаны (вместе с экспериментальными значениями  $W_{\text{exp}}$ ) для состава в центре области эксперимента ( $x_i = 0$ ,  $i=1-5$ ).

$$W = a \cdot (1 - \exp[-b \cdot \tau]) \quad (1)$$

$$dW/d\tau = a \cdot b \cdot \exp[-b \cdot \tau] \quad (2)$$

Параметр  $a$  в моделях (1-2) соответствует максимальному количеству воды, поглощаемой полимерраствором,  $b$  – показатель темпа набора воды.

Полученные модели (27 пар кривых) позволяют оценить для 27 составов водопоглощение и его

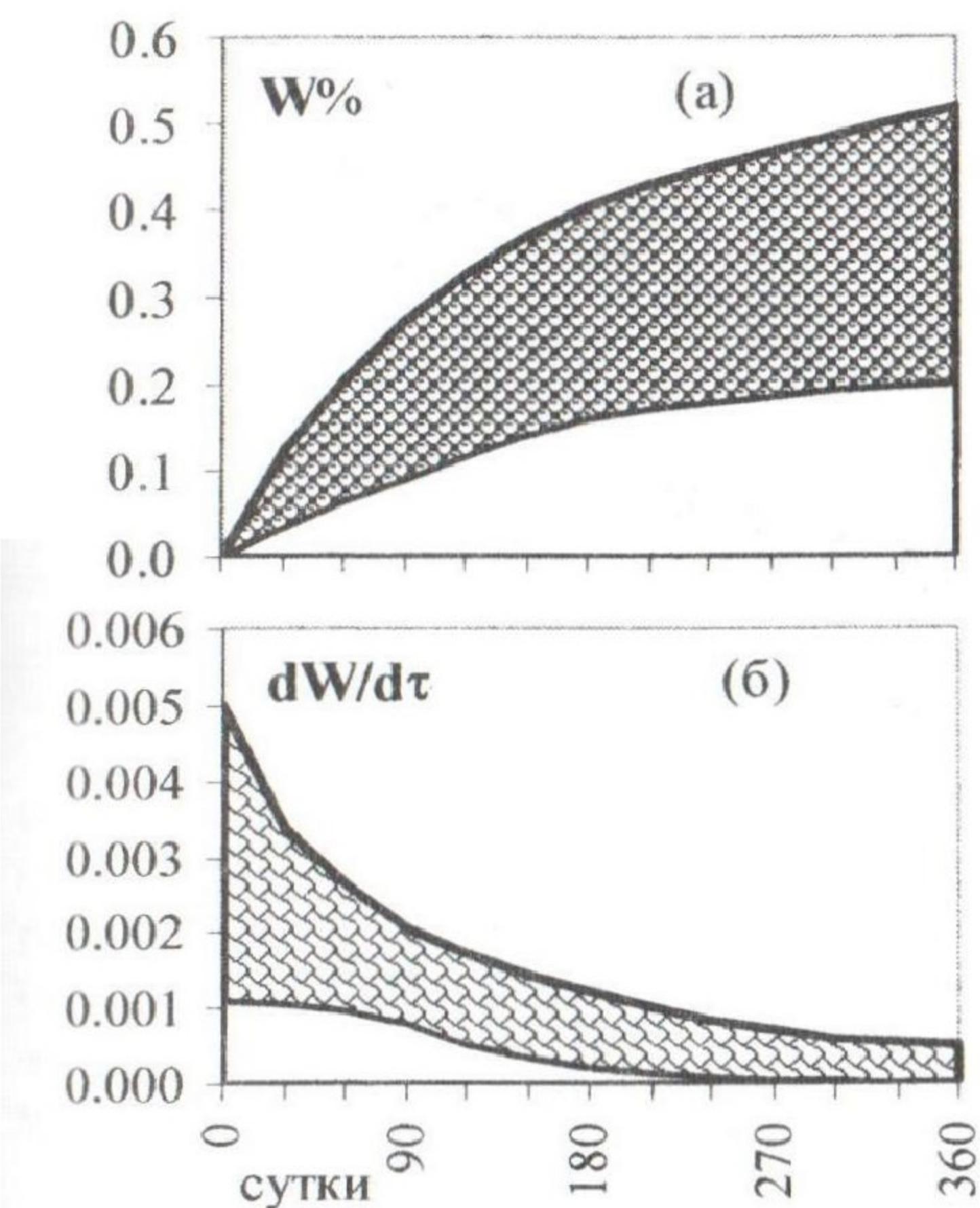


Рис. 2. Изменения количества (а) и скорости набора воды (б) во всей области экспериментальных эпоксидных композиций

композиций (максимальные, начальные скорости в интервале 0.001-0.005).

Сравнительный анализ кривых водопоглощения разных композиций показывает, что наиболее заметное влияние на этот процесс оказывает содержание фурфурола. Причем более низкий уровень водопоглощения при любых сроках экспозиции соответствует средней дозировке (рис. 3).

Проанализировать совместное влияние факторов состава на характеристики водопоглощения позволяют ЭС-модели. В частности, по экспериментальным значениям водопоглощения для 27 композиций через 6 месяцев экспозиции ( $W_6$ ) построена модель (3). Следует отметить, что эти данные, показали слабую корреляционную связь  $W_6$  с плотностью ( $r = 0.48$ ). Записанная в структурированной форме модель (16 значимых коэффициентов при риске 10%) содержит блок (а), описывающий влияние каркаса при средних уровнях факторов модификации, блок (б), представляющий эффекты

скорость на любой момент времени. В частности, можно прогнозировать  $W$  после года пребывания в воде. По таким оценкам, по уровням параметра  $a$ , темпа  $b$  и других обобщающих показателей кинетики водопоглощения можно сравнивать композиции при анализе и проектировании качества материала.

Все 27 кривых водопоглощения укладываются в зону значений, показанную на рис. 2а (при максимальном поглощении  $a$  в пределах от 0.2 до 0.6 %).

Картина снижения интенсивности водопоглощения по мере набора воды представляет зона на рис. 2б, накрывающая кривые скорости для всех

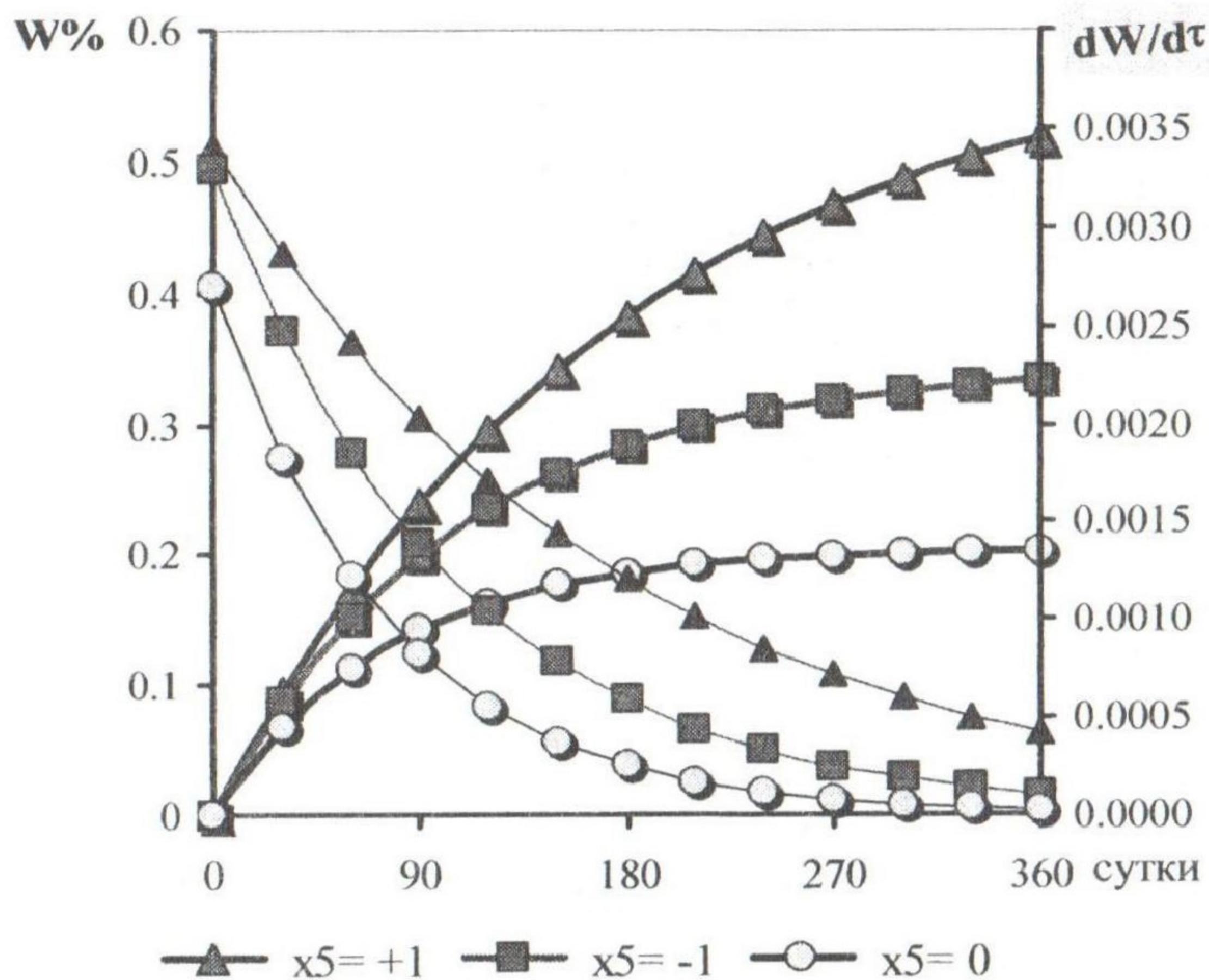


Рис. 3. Кривые водопоглощения и его скорости для композиций с 2, 7 и 12 м.ч. фурфурола при средних значениях остальных факторов

модификации композиций со средним наполнением и средним соотношением песка и наполнителя, и блок (с), характеризующий синергизм наполнения и модификации.

$$W_6 \cdot 10^3 = 240 \quad \begin{aligned} & -41x_1 \pm 0x_1^2 + 8x_1x_2 \\ & -5x_2 \pm 0x_2^2 \end{aligned} \quad (a)$$

$$\begin{aligned} & \pm 0x_3 - 48x_3^2 + 11x_3x_4 + 9x_3x_5 \\ & -6x_4 - 22x_4^2 + 12x_4x_5 \\ & + 43x_5 + 99x_5^2 \end{aligned} \quad (b)$$

$$\begin{aligned} & \pm 0x_1x_3 \\ & -11x_1x_4 \\ & -13x_1x_5 \\ & \pm 0x_2x_3 \\ & + 8x_2x_4 \\ & + 20x_2x_5 \end{aligned} \quad (c) \quad (3)$$

Модель описывает полное поле [5] водопоглощения в координатах всех пяти параметров состава. Минимальный уровень этого поля  $W_{6\min} = 0.009\%$ , при  $x_1=+1$  (максимальное наполнение минеральным каркасом),  $x_2 = x_3 = -1$  (много песка, мало наполнителя и минимальная часть в нем цеолита),  $x_4 = 1$  (максимальное количество в цеолите крупных зерен),  $x_5 = -0.07$  (средняя дозировка фурфурола). Максимум  $W_{6\max} = 0.045\%$  при  $x_1=-1$  (низкое наполнение),  $x_2 = +1$

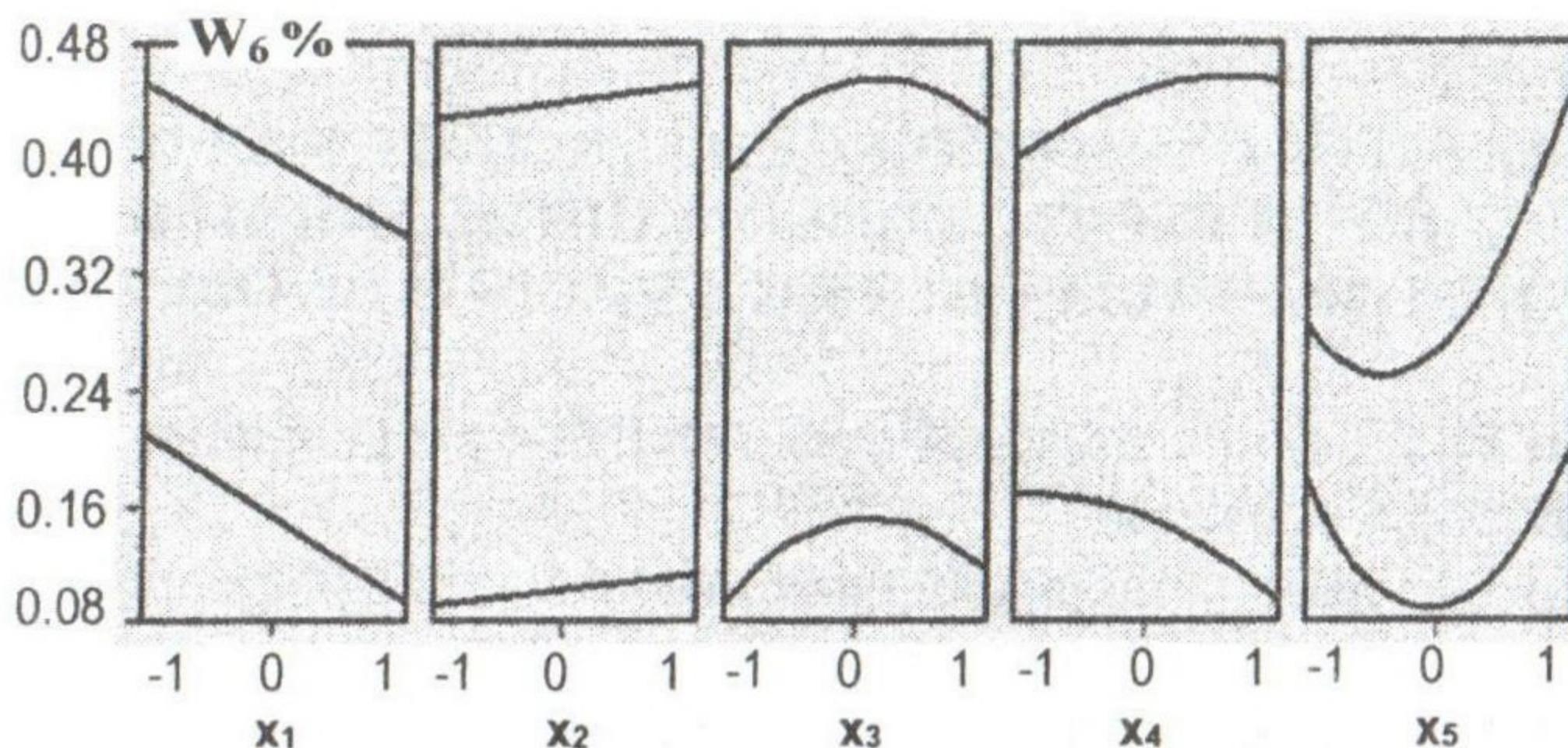


Рис. 4. Влияние факторов состава полимерраствора на водопоглощение в зонах минимума и максимума

(максимальное содержание наполнителя, мало песка),  $x_3 = 0.16$ ,  $x_4 = 0.60$  (средний уровень модификации цеолитом с повышенным содержанием крупных зерен) и  $x_5 = +1$  (много фурфурола). Однофакторные кривые  $W_6$  в зоне минимума и максимума отображают на рис. 4 влияние каждого фактора на водопоглощение после 6 месяцев экспозиции.

Очевидно, что увеличение доли минерального каркаса ведет к снижению водопоглощения. Подтверждается\* эффективность органического модификатора – средних дозировок фурфурола. При повышенном наполнении дополнительный положительный эффект может дать смесь крупных и мелких зерен цеолита.

**Заключение.** Во всем исследованном диапазоне составов эпоксидных композитов водопоглощение (до 0.6%) не превышает значений, характерных для этого класса материалов. Количественные оценки влияния компонентов на кинетику водопоглощения указывают на возможности компромиссной оптимизации материала по стоимости, стойкости и другим критериям качества.

1. Czarnecki L. Repair systems; searching towards compatibility measure // Bonded Concrete Overlays. Proc. Int. RILEM Workshop, Stockholm, 2004. – Р. 14-20.
2. Соломатов В.И., Селяев В.П. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1987. – 284 с.
3. Моделирование и анализ влияния минеральных компонентов эпоксидного композита на его водопоглощение / Т.В. Ляшенко, А.Д. Довгань, Ан.А. Гара, А.Б. Шаршунов, И. Подагелис // Мат-лы 44-го междунар. сем. по моделированию и оптимизации композитов МОК'44. – Одесса, Астропринт, 2005. – С. 5-8.
4. Ляшенко Т.В. Гара Ан.А., Шаршунов А.Б. Анализ влияния многофракционного каркаса на прочность эпоксидных композиций, модифицированных фурфуролом // Современные строительные конструкции из металла и древесины. – Одесса, ОГАСА, 2006. – С. 34-41.
5. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса, Астропринт, 2006. – 116с.