

УДК 666.92:517.9

**Т. В. ЛЯШЕНКО, С. А. КРЮКОВСКАЯ**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

**РЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ  
ФИБРОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ НАЛИВНЫХ  
ПОКРЫТИЙ ПОЛОВ**

Рассматриваются реометрические характеристики фиброармированных полимерцементных технологических смесей для наливных покрытий полов. Это числовые характеристики кривых вязкости и параметры уравнения Освальда-де-Вилля, которые целесообразно использовать в качестве критериев при разработке оптимальных композиций. Необходимые для этого многофакторные ЭС-модели зависимостей критериев от параметров состава получены по результатам спланированного эксперимента. Отмечаются выявленные с помощью моделей особенности влияния компонентов, включая диспергируемый полимер с функциями вяжущего и суперпластификатора, на характеристики реологического поведения смесей. Показаны компромиссно оптимальные рецептурные решения для разных требований к технологии и эксплуатации.

**суспензия, кривая вязкости, модель Освальда-де-Вилля, диспергируемый полимер, полипропиленовая фибра, метилцеллюлоза, экспериментально-статистическая модель, компромиссный оптимум**

**ВВЕДЕНИЕ**

Сухие смеси для устройства полов должны отвечать комплексу достаточно высоких технологических и эксплуатационных требований [1–3] и поэтому относительно дороги. Перспективы производства и применения этого класса материалов связаны с возможностями экономии ресурсов и применения новых компонентов для придания специальных свойств.

В качестве основы смесей для наливных покрытий полов исследовались [4–5] фиброармированные полимерцементные композиции с диспергируемым полимером Виннапас «нового поколения», соединяющим функции связующего и суперпластификатора. Фирма-производитель WACKER POLYMERS [6] рекомендует это полимерное вяжущее, VINNAPAS® 5014 F (F – от *Flow*, класс продуктов с высокой растекаемостью без разжижителей), в том числе для машинной технологии подачи и наливки раствора.

Помимо Виннапаса (образующего с цементом «идеальные» вяжущие системы с улучшенными технологическими характеристиками, водоудерживающей способностью, адгезией, прочностью), в исследовании выделены неоднозначно влияющие на свойства композиций эфиры целлюлозы (необходимые для обеспечения водоудержания и снижения седиментации), а также полимерные волокна (вводимые для уменьшения усадочных деформаций, повышения прочности, трещиностойкости и износостойкости).

Влияние этих компонентов на характеристики технологической смеси, физико-механические свойства затвердевшего раствора и связи между свойствами (критериями  $Y$ ) описано экспериментально-статистическими (ЭС) моделями зависимостей  $Y$  от вектора  $x$  нормализованных параметров состава ( $|x_i| \leq 1$ ) и проанализировано [4–5] с помощью вычислительных экспериментов. Поскольку введение фибры, направленное на улучшение работы затвердевшего материала, может в то же время препятствовать этому улучшению, ухудшая удобоукладываемость и другие свойства жидкой смеси, для ряда условий технологии и эксплуатации с помощью ЭС-моделей были определены оптимальные компромиссные рецептурные решения.

В соответствии с назначением смесей особое внимание было уделено критериям их реологического поведения, поскольку с ним связана, во-первых, технология приготовления и нанесения раствора, во-вторых – структура и свойства затвердевшего материала. Поэтому целесообразно (как показано, в частности, в работах [7–8] и косвенно декларировалось комитетом RILEM 222-SCF «*Simulation of fresh concrete flow*»), чтобы среди этих критериев были характеристики состояния структурированной жидкости, определяемые в прямых реологических измерениях.

В данной работе представлен расширенный ряд таких критериев, их зависимости от рецептуры, а также результаты решения с участием этих критериев задач многокритериальной оптимизации композиций.

### ЭКСПЕРИМЕНТ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ

В эксперименте, при постоянном количестве цемента и песка (соответственно 39 и 57 массовых частей в 100 м. ч. сухой смеси), варьировались четыре фактора – параметры состава:

$X_1$  – количество VINNAPAS® 5014 F ( $V\%$  от массы цемента) в интервале 2,3–5,5; пересчет дозировки  $V$  в проценты от массы сухой смеси дает диапазон 0,9–2,1 %, накрывающий интервал дозировок (1–2 %), рекомендуемый производителем;

$X_2$  – молекулярная масса метилцеллюлозы,  $MMC$  (мПа·с, по вязкости водного раствора), на уровнях 300, 1 500 и 3 000;

$X_3$  – дозировка метилцеллюлозы,  $MC$ , от 0,1 до 0,4 % (от массы цемента);

$X_4$  – содержание полипропиленовой фибры длиной 3 мм,  $F$  в диапазоне 0,2–1,0 % (от массы цемента).

Эксперимент выполнен по 4-факторному плану 2-го порядка, в соответствии с которым определялись свойства 18 композиций. Прежде всего, подбиралось количество воды, обеспечивающее заданную растекаемость технологической смеси – 180 мм (согласно ДСТУ Б В.2.7-126:2006), которое для этих композиций оказалось в диапазоне 14–27 м. ч. на 100 сухой смеси.

Для каждой из 18 суспензий на ротационном вискозиметре (с коаксиальными цилиндрами) определена эффективная вязкость  $\eta_v$  (Па·с) в диапазоне скорости сдвига  $\gamma' = 0,066–134,5 \text{ с}^{-1}$ . На рис. 1 показаны данные, представляющие одну из 18 кривых вязкости – для композиции в центре эксперимента, при центральных значениях всех четырех факторов.

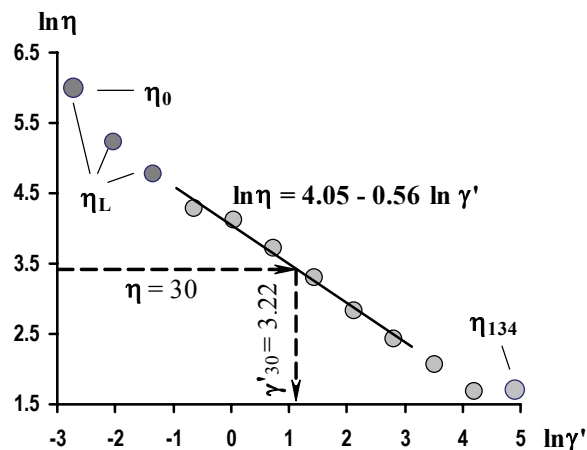


Рисунок 1 – Точки кривой вязкости для смеси в центре эксперимента.

Те или иные числовые характеристики кривых вязкости могут использоваться как зависящие от состава  $x$  реометрические критерии. Это, в частности, показанные на рис. 1 вязкости:  $\eta_0$  – при минимальной  $\gamma'$  (0,066),  $\eta_L$  – средняя для 3 нижних скоростей,  $\eta_{134}$  – при  $\gamma' = 134,5$ , возможно, близкая к вязкости жидкости с предельно разрушенной структурой [9]. Кроме того, таким критерием может быть эффективная вязкость  $\eta_v$  при любой заданной условиями технологии скорости сдвига или скорость  $\gamma'_v$ , обеспечивающая требуемую вязкость. Последние две характеристики могут быть определены при наличии подходящего реологического уравнения. В диапазоне средних скоростей (0,52–16,81) кривые вязкости для каждой смеси адекватно описаны (средняя ошибка неадекватности около 10 %)

уравнением (1) Освальда-де-Вилля [10, 11], где коэффициент  $K$  равен эффективной вязкости  $\eta_1$  (при  $\gamma' = 1$ ), и  $m < 0$  характеризует [12–13] темп разрушения структурированной жидкости (чем больше  $|m|$ , тем менее устойчива структура).

$$\eta_\gamma = K \cdot (\gamma')^m, \ln \eta_\gamma(x) = \ln K(x) + m(x) \cdot \ln \gamma'. \quad (1-2)$$

Параметры тех или иных реологических уравнений, в частности,  $K$  и  $m$  в (1), характеризующие конкретную дисперсную систему с жидкой дисперсионной средой (смесь фиксированного состава), относят к так называемым «константам» физических моделей. В то же время значения этих, как и выше названных, критериев реологического поведения технологической смеси зависят от ее состава, что отражено в логарифмической форме (2) уравнения (1).

С помощью ЭС-моделей «константы» могут быть описаны как функции состава и проанализированы с помощью вычислительных экспериментов на рецептурных полях этих критериев [13]. *Подобное объединение моделей разной природы [14–15], «квази-фундаментальных» и экспериментально-статистических, может служить мостом между общими закономерностями и конкретными технологическими условиями при разработке конкретных материалов.*

Так уравнение (2) с  $K(x)$  и  $m(x)$  в виде ЭС-моделей дает возможность оценить эффективную вязкость любой технологической смеси в исследуемой области составов при любой скорости сдвига в пределах аппроксимации степенным законом Освальда-де-Вилля. Более того, оно позволяет решить обратные задачи – для любой смеси определить скорость сдвига, при которой будет обеспечена требуемая вязкость.

Значения  $K$  и  $m$  в аппроксимации (1) для 18 композиций позволили описать зависимости  $K(x)$  и  $m(x)$  в (2) нелинейными ЭС-моделями. Такая модель (3) для  $K = \eta_1$  (со значимыми эффектами при ошибке эксперимента 11 % – ошибке оценки  $K$ ) приведена в структурированной форме уравнение (3) с пояснениями физического смысла эффектов в блоках модели.

$$\ln \eta_1 = 4,06 + \begin{matrix} + 0.70x_1 - 0.41x_1^2 \\ - 0.09x_2 - 0.20x_2^2 \pm 0 x_2x_3 \\ + 0.13x_3 \pm 0 x_3^2 \\ + 0.17x_4 \pm 0 x_4^2 \end{matrix} + \begin{matrix} + 0.25x_1x_2 \\ - 0.05x_1x_3 \\ + 0.11x_1x_4 \\ \pm 0 x_2x_4 \\ - 0.16x_3x_4 \end{matrix} \quad (3)$$

Эффекты Виннапаса при средних ММС, МС, F  
Эффекты метилцеллюлозы при средних V и F  
Уровень при средних V, ММС, МС, F  
Эффекты фибры при средних V, ММС, МС  
Синергизм

Для темпа разрушения получена модель (4) (со значимыми эффектами при ошибке 5 %).

$$m | = 0.555 + \begin{matrix} + 0.036x_1 \pm 0 x_1^2 \\ \pm 0 x_2 \pm 0 x_2^2 \pm 0 x_2x_3 \\ \pm 0 x_3 \pm 0 x_3^2 \\ + 0.034x_4 - 0.038x_4^2 \end{matrix} + \begin{matrix} + 0.044x_1x_2 \\ - 0.022x_1x_3 \\ \pm 0 x_1x_4 \\ \pm 0 x_2x_4 \\ - 0.019x_3x_4 \end{matrix} \quad (4)$$

Рецептурное поле вязкости  $\eta_1$ , описанное уравнением (3), имеет минимальный уровень  $\eta_{1, \min} = \exp(2,387) = 10,9$  (при  $x_1 = x_3 = x_4 = +1, x_2 = 0,87$ ) и максимум  $\eta_{1, \max} = 156,6$  Па·с ( $x_1 = x_2 = x_4 = +1, x_3 = -1$ ). Влияние на эту характеристику отдельных параметров смеси отражают показанные на рис. 3 однофакторные локальные поля  $\ln \eta_1(x_i)$  – в зонах указанных выше экстремумов.

Данные о других реометрических характеристиках, о водопотребности, а также о прочности при сжатии и изгибе через 3 и 28 суток твердения ( $R_{c3}, R_{b3}, R_{c28}, R_{b28}$ ), динамическом модуле упругости (E) и других свойствах для каждой из 18 композиций позволили описать рецептурные поля этих критериев качества материала ЭС-моделями, аналогичными (3–4).

Реологические свойства дисперсных систем [9, 11], характеризующие формирующиеся структуры композитов в начале «рождения», в то же время определяют надежность технологии и затраты энергии. С учетом этого проанализировано влияние управляемых параметров смеси на рассматриваемые реометрические критерии.

Модель (3) и кривые на рис. 2 показывают, что количество «вяжущего – суперпластификатора» более чем другие факторы увеличивает  $K = \eta_1$ . То же относится и к содержанию фибры в случае достаточно вязких смесей. Факторы метилцеллюлозы значимо изменяют степень влияния V и F, причем молекулярная масса и дозировка в противоположных направлениях; изменяется и характер

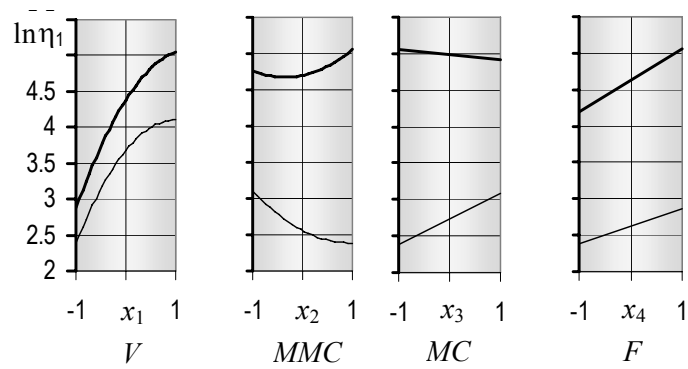


Рисунок 2 – Влияние состава смеси на вязкость  $\eta_1$  в зонах минимума и максимума.

влияния. Это видно на рис. 3, где показаны зависимости  $\eta_1$  от  $V$  и  $F$  при верхнем содержании «низкомолекулярной» метилцеллюлозы ( $x_2 = -1, x_3 = +1$ ) и при нижней дозировке  $MC$  и верхнем уровне молекулярной массы ( $x_2 = +1, x_3 = -1$ ).

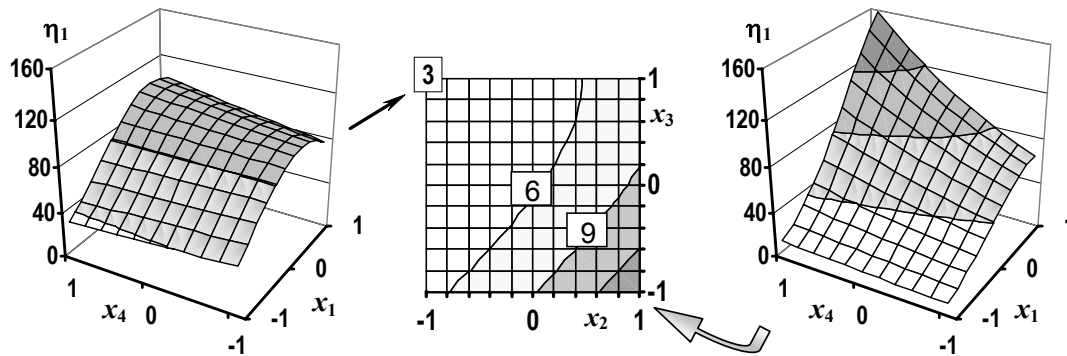


Рисунок 3 – Локальные поля  $\eta_1$  и относительный перепад  $\eta_1(x_1, x_4)$  за счет  $V$  и  $F$  на квадрате  $\{x_2, x_3\}$  – для разных  $MMC$  и  $MC$ . for various  $MMC$  and  $MC$  – on  $\{x_2, x_3\}$ -square.

Влияние Виннапас наиболее весомо и для других реометрических характеристик: тесно коррелированных  $\eta_1$  и  $\eta_L, \eta_{134}, m, \gamma'_{20}, \gamma'_{30}$ . Для этих критериев можно отметить следующее:

- $m|_{\min} = 0,42, m|_{\max} = 0,73$ , рост  $m|$  (а следовательно, большее падение  $\eta_1$ ) с увеличением  $F$  до 0,85–0,90 %, неоднозначное влияние метилцеллюлозы;
- $\eta_{0,\min} = 99,6, \eta_{L,\min} = 63,8, \eta_{0,\max} = 927, \eta_{L,\max} = 619$  Па·с, неоднозначное влияние  $MMC$  и  $MC$ , заметное увеличение  $\eta_L$  с увеличением  $F$  в зоне максимума;
- при высокой скорости сдвига дозировка  $MC$  не оказывает влияние на вязкость смеси, в частности на  $\eta_{134}$ , которая заметно падает при увеличении молекулярной массы; в вязких смесях снижению вязкости при повышенных  $\gamma'$  может способствовать увеличение содержания фибры;
- увеличение дозировки фибры в исследованном диапазоне практически не требует увеличения скорости при необходимости обеспечить достаточно низкие вязкости (20–30 Па·с); при этом незначительный вклад в снижение скоростей вносит увеличение молекулярной массы метилцеллюлозы.

Как подтверждает анализ индивидуального и совместного влияния компонентов на прочность при сжатии и изгибе после 3 и 28 суток твердения [4, 5], наиболее «мощные» факторы  $V$  и  $F$  повышают и прочность, и вязкость. Поэтому для определения «лучших» из композиций, отвечающих конкретным требованиям технологии и эксплуатации, приходится находить компромисс между минимумом тех или иных реологических критериев и максимумом прочности.

### КОМПРОМИССНО ОПТИМАЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИИ

Для решения трех представленных ниже задач многокритериальной оптимизации использован алгоритм итерационного случайного сканирования рецептурных полей свойств [16]. Версии алгоритма, наиболее полно описанного в работах [17–19], позволяют находить допустимые, оптимальные и компромиссно оптимальные рецептурно-технологические решения многомерных задач и были

применены при разработке композиций разной природы и назначения, включая сухие смеси для покрытий полов [20].

Суть алгоритма состоит в следующем. На каждой итерации в области поиска генерируется  $N$  (как правило, 10 000) равномерно распределенных случайных вариантов рецептуры, задаваемых нормализованными переменными  $x_i$ . На начальной итерации область поиска – вся исследуемая факторная область, полных рецептурных полей  $Y(\mathbf{x})$  специфицируемых критериев-ограничений и критериев оптимальности, описанных ЭС-моделями. По моделям рассчитываются значения критериев в  $N$  случайных точках  $\mathbf{x}$  многомерного факторного куба, а также в его вершинах. Удаляются точки (рецептурные комбинации), не обеспечивающие нормативных ограничений. Далее область оставшихся, допустимых решений сжимается за счет пошагового приближения ее границ к индивидуальным оптимумам критериев оптимальности поочередно. В результате сужаются диапазоны компромисса, до тех пор пока в них не остается лишь несколько точек. Уменьшенное более чем на 2–3 порядка множество вариантов является базовым для следующей итерации. Для «компенсации» возможных потерь решений в промежутках между случайными точками полученная область несколько расширяется (по каждому  $x_i$ ). В расширенной гиперпризме вновь генерируется 10 000 рецептурных вариантов и выполняется следующая итерация. Приведенные ниже компромиссно оптимальные решения каждой из трех задач были найдены за 2 итерации.

В задаче «А», записанной в виде условия (5), следовало максимизировать раннюю прочность раствора при изгибе  $R_{b3}(\mathbf{x})$  и минимизировать вязкость смеси при самой низкой скорости сдвига ( $\mathbf{x}$ ). При этом должны быть выполнены требования по прочности в 28 суток и вязкости при средних скоростях сдвига.

$$\eta_0 \rightarrow \min, R_{b3} \rightarrow \max, R_{b28} \geq 6, R_{c28} \geq 35 \text{ МПа}, 30 \leq \eta_1 \leq 90 \text{ Па}\cdot\text{с}. \quad (5)$$

В данной задаче получены следующие результаты:

- дозировка Виннапас  $V = 3,0 \%$  (по массе цемента,  $x_1 = 0,56$ );
- молекулярная масса метилцеллюлозы  $MMC = 3\ 000$  ( $x_2 = +1$ );
- дозировка метилцеллюлозы  $MC = 0,4 \%$  ( $x_3 = +1$ );
- количество фибры  $F = 1 \%$  ( $x_4 = +1$ );

В пересчете на сухую смесь дозировки составляют: 1,2 % Виннапас, 0,15 % метилцеллюлозы и 0,4 % фибры.

Это низковязкая композиция: средняя эффективная вязкость при низких скоростях сдвига при скорости  $1 \text{ с}^{-1} - 37 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; обеспечивает прочность при изгибе через 3 суток 3,8 МПа, через 28 суток – 6,6 МПа, прочность при сжатии через 28 суток 51,7 МПа, адгезионная прочность 1,8 МПа, динамический модуль упругости  $E = 20,7 \text{ ГПа}$ .

В задаче «Б» (6) требовалась большая прочность и не столь низкая вязкость.

$$\eta_0 \rightarrow \min, R_{b3} \rightarrow \max, R_{b28} \geq 6,5, R_{c28} \geq 40 \text{ МПа}, 60 \leq \eta_1 \leq 150 \text{ Па}\cdot\text{с}. \quad (6)$$

Поиск компромисса привел к решению с верхними значениями всех факторов ( $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = +1$ ):  $V = 5,5 \%$ ,  $MMC = 3\ 000$ ,  $MC = 0,4 \%$ ,  $F = 1 \%$ . Значения критериев следующие:  $R_{b3} = 4,0$ ,  $R_{b28} = 6,9$ ,  $R_{c28} = 55,5 \text{ МПа}$ ,  $\eta_0 = 600$ ,  $\eta_1 = 134 \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Это «средневязкая» композиция повышенной прочности (вязкость  $\eta_1$  при низких скоростях в среднем 460 Па·с), отличающаяся от состава «А» содержанием VINNAPAS® 5014 F (2,1 % по массе сухой смеси); адгезия не менее 2 МПа,  $E = 21 \text{ ГПа}$ .

**Задача «В» (7)** отличается по постановке от «А» и «Б» прежде всего первым критерием оптимальности. Это скорость сдвига, обеспечивающая требуемую технологией вязкость смеси. Минимизация  $\gamma'_\eta$  дает возможность потребителю экономить энергию – за счет перемешивания технологической смеси на более низких скоростях. Решены 2 варианта задачи – при  $\eta_y = 20$  и 30 Па·с.

$$\gamma'_\eta \rightarrow \min, R_{b3} \rightarrow \max, R_{b28} \geq 6, R_{c28} \geq 35 \text{ МПа} \quad (7)$$

Одинаковый для обеих вязкостей компромиссно оптимальный состав отличается от составов «А» и «Б» содержанием VINNAPAS® 5014 F:  $x_1 = 1$ ,  $V = 2,3 \%$  (по массе цемента), или 0,9 % в пересчете на сухую смесь. Это существенно ниже рекомендуемой производителем средней дозировки – 1,5 % и на 0,1 % меньше нижней границы рекомендуемого диапазона и таким образом ведет к снижению стоимости смеси.

Эта «легко текущая» композиция (средняя вязкость при низких скоростях менее 100, при скорости  $1 \text{ с}^{-1}$  менее 20 Па·с) обеспечивает вязкость 20 Па·с при  $\gamma' = 0,78 \text{ с}^{-1}$ , 30 Па·с при  $\gamma' = 0,34 \text{ с}^{-1}$ . После 3-х суток твердения имеет прочность при изгибе 3,4 МПа; через 28 суток прочность при изгибе 6,5, при сжатии 53,5 МПа, адгезионная прочность 1,7 МПа,  $E = 19,2 \text{ ГПа}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализировано влияние состава фиброполимерцементных смесей на кривые их вязкости с помощью экспериментально-статистических моделей и их инкорпорации в реологическое уравнение. Существенное влияние фибры и диспергируемого полимера, обладающего свойствами вяжущего и сильного пластификатора, заметно меняется в зависимости от количества и молекулярной массы метилцеллюлозы. С помощью итерационного случайного сканирования рецептурных полей найдены составы, обеспечивающие оптимальный компромисс между минимумами реологических критериев и максимальной ранней прочностью раствора, при выполнении требований к другим характеристикам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сухие строительные смеси [Текст] / Е. К. Карапузов, Г. Лутц, Х. Герольд и др. – Киев : Техніка, 2000. – 225 с.
2. Соха, В. Г. Фіброполімерцементні суміші для улаштування високоміцних покриттів промислових підлог [Текст] : автореф. дис. ... к. т. н. : 05.23.05 / В. Г. Соха, ОДАБА. – Одеса, 2005. – 20 с.
3. Рунова, Р. Ф. Технологія модифікованих будівельних розчинів [Текст] / Р. Ф. Рунова, Ю. Л. Носовський. – Київ : КНУБіА, 2007. – 256 с.
4. Реологические характеристики и механические свойства полимерцементных растворов с полипропиленовой фиброй и VINNAPAS® 5014 F [Текст] / В. Г. Соха, Е. К. Карапузов, Т. В. Ляшенко, С. А. Крюковская // Строительные материалы и изделия. – 2012. – № 4. – С. 24–29.
5. Lyashenko, T. Modelling the influence of composition on rheological parameters and mechanical properties of fibre reinforced polymer-cement mortars [Текст] / T. Lyashenko, S. Kryukovskaya // Brittle Matrix Composites 10 / AM Brandt, J. Olek, MA Glinicke & SKY Leung (Eds.). – Cambridge : Woodhead Publ. Ltd. ; Warsaw : IFTR, 2012. – P. 169–178.
6. Product Overview 2010/2011. Polymer Binders for the Greater China Construction Industry. Creating tomorrow's solutions [Текст] / Wacker Chemicals (China) Co., Ltd. – Shanghai, 2010. – 20 p.
7. Wallevik, O. H. Rheology – a new dimension in concrete technology [Текст] / O. H. Wallevik // Proceedings 16<sup>th</sup> Ibaasil, International Conference on Building Materials (Internationale Baustofftagung), Weimar, Germany / Ed. H. B. Fischer, F. A. Finger ; Institut für Baustoffkunde. – Weimar : Bauhaus – Universität, 2006. – P. 2–1417–2–1430.
8. Rheology of fiber-reinforced cement systems using a custom built rheometer [Текст] / K. Kuder, N. Ozyurt, E. Mu, S. Shah // Brittle Matrix Composites 8 / AM Brandt, VC Li & IH Marshall (Eds.). – Cambridge : Woodhead Publ. Ltd. ; Warsaw : ZTUREK RSI, 2006. – P. 431–439.
9. Урьев, Н. Б. Структурообразование и реология неорганических дисперсных систем и материалов [Текст] / Н. Б. Урьев, Я. П. Иванов. – София : БАН, 1991. – 210 с.
10. Шрамм, Г. Основы практической реологии и реометрии [Текст] / Г. Шрамм. – М. : КолосС, 2003. – 311 с.
11. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів [Текст] / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов. – Макіївка : ДонНАБА, 2006. – 303 с.
12. Transformation of viscosity function in mixture space of polymer containing composition [Текст] / V. Voznesensky, T. Lyashenko, O. Lapina, E. Karapuzov // Proceedings of the 8th International Conference on Mechanics and Technology of Composite Materials, Sofia, Bulgaria, September 29 – October 2, 1997 / Member of the International Scientific Committee. – Sofia : Bulgarian Academy of Sciences, 1997. – P. 76–77.
13. Ляшенко, Т. В. Методи комп'ютерного матеріалознавства при аналізі взаємозв'язку реологічних показувачів композицій [Текст] / Т. В. Ляшенко, В. А. Вознесенський // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури / М-во освіти і науки України, Донбаська держ. академія будівництва і архітектури. – Макіївка, 2001. – Вип. 2001-1(26) : Композиційні матеріали для будівництва. – С. 67–74.
14. Вознесенський, В. А. Проблема побудови комплексів математических моделей різної генерації для оптимізації високоякісних матеріалів в комп'ютерному матеріалознавстві [Текст] / В. А. Вознесенський, Т. В. Ляшенко // Рациональний експеримент в матеріалознавстві : Матеріали к 39-му міжнародному семінару по моделюванню і оптимізації композитів – МОК'39. Одеса, 26–27 квітня 2000 / Гл. ред. В. А. Вознесенський ; Одеська гос. академія будівництва і архітектури. – Одеса : Астропринт, 2000. – С. 5–7.
15. Вознесенський, В. А. ЭС-модели «КОНСТАНТ» квазифундаментальных моделей в компьютерном строительном материаловедении [Текст] / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА, 2007. – Вип. 42. – С. 39–45.

Получено 12.12.2012

Т. В. ЛЯШЕНКО, С. А. КРЮКОВСЬКА  
РЕОЛОГІЧНІ КРИТЕРІЇ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ФІБРОПОЛІМЕРЦЕМЕНТНИХ  
КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ НАЛИВНИХ ПОКРИТТІВ ПІДЛОГ

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Розглядаються реометричні характеристики фіброармованих полімерцементних технологічних сумішей для наливних покриттів підлог. Це числові характеристики кривих в'язкості і параметри рівняння Освальда-де-Віля, які доцільно використовувати як критерії при розробці оптимальних композицій. Необхідні для цього багатофакторні ЕС-моделі залежностей критеріїв від параметрів складу отримані за результатами спланованого експерименту. Наголошуються виявлені за допомогою моделей особливості впливу компонентів, включаючи диспергований полімер з функціями в'язучого та суперпластифікатора, на характеристики реологічної поведінки сумішей. Показані компромісно оптимальні рецептурні рішення для різних вимог до технології і експлуатації.

**суспензія, крива в'язкості, модель Освальда-де-Віля, диспергований полімер, поліпропіленова фібра, метилцелюлоза, експериментально-статистична модель, компромісний оптимум**

TATIANA LYASHENKO, SVETLANA KRYUKOVSKAYA  
RHEOLOGICAL CRITERIA WHEN OPTIMISING FIBRE REINFORCED  
POLYMER-CEMENT COMPOSITIONS FOR SELF-LEVELLING FLOORING

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Rheometrical characteristics of fibre reinforced polymer-cement technological mixes for self-levelling flooring are considered. These are the numerical characteristics of viscosity curves and parameters of Oswald-de to Vale equation, which would be reasonable to be used as criteria when developing optimal compositions. Multi-factor ES-models of criteria dependences on composition parameters have been obtained on results of the designed experiment. The specific features of the influence of mix components, including dispersible polymer with properties of binder and superplasticiser, on characteristics of rheological behaviour of the mixes, revealed with the help of the models are noted. Optimal compromise prescriptions for various technological and operational requirements are shown.

**suspension, viscosity curve, Oswald-de to Vale model, dispersible polymer, polypropylene fibre, methylcellulose, experimental-statistical model, compromise optimum**

**Ляшенко Тетяна Василівна** – доктор технічних наук, професор кафедри прикладної та обчислювальної математики і САПР Одеської державної академії будівництва та архітектури (ОДАБА), член-кореспондент МІА, член Наукової ради з комп'ютерного матеріалознавства МІА. Наукові інтереси: математичне моделювання і комп'ютерні технології в дослідженнях будівельних матеріалів.

**Крюковська Світлана Андріївна** – магістр, асистент кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: сухі будівельні суміші, експериментально-статистичне моделювання.

**Ляшенко Татьяна Васильевна** – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной и вычислительной математики и САПР Одесской государственной академии строительства и архитектуры (ОГАСА), член-корреспондент МИА и член Научного совета по компьютерному материаловедению МИА. Научные интересы: математическое моделирование и компьютерные технологии в исследованиях строительных материалов.

**Крюковская Светлана Андреевна** – магистр, ассистент кафедры городского строительства и хозяйства Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: сухие строительные смеси, экспериментально-статистическое моделирование.

**Tatiana Lyashenko** – DSc., Professor, Applied and Computational Mathematics and Computer-aided Design Systems, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Correspondent Member of International Academy of Engineering and Member of the Council on Computational Materials Science. Scientific interests: mathematical modelling and computer technologies in researches of building materials.

**Svetlana Kryukovskaya** – MSc., assistant, Municipal Building and Facilities Department, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: dry building mixes, experimental-statistical modelling.