

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

С.И.Гедулян

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

Бетон, как основной конструкционный материал строительства, находится в различных эксплуатационных условиях и подвержен воздействию различных деструктивных сред. Для проведения ремонта конструкций наиболее широко используются полимерцементные ремонтные материалы, как правило, поставляемые в виде сухих строительных смесей.

Показатели качества ремонтных растворов (прочность, непроницаемость, морозостойкость и др.) регламентируются ДСТУ Б В.2.7-126:2011 «Суміші будівельні сухі модифіковані», за основу которого взят Европейский стандарт EN 1504:2005. Products and systems for the protection and repair of concrete structures (Материалы и системы для ремонта и защиты бетонных конструкций). При этом необходимо на практике обеспечить дополнительно, как минимум, следующие условия [1]:

– реологические свойства, которые определяются методом проведения ремонта [2];

- сокращение времени твердения для ускорения ввода в эксплуатацию;
- уменьшение усадочных деформаций и замедление влагопотерь;
- повышение адгезии к поверхности основания.

В Украине исследования по созданию высокофункциональных материалов (ремонтные, штукатурные смеси, наливные полы и др.) проведены КНУБА (Р.Рунова, В.Троян), Львовской политехникой (М.Саницкий), НУВХП (Л.Дворкин), ОДАБА (В.Вознесенский, Т.Ляшенко, А.Довгань), фирмами Хенкель Баутехник (Е.Карапузов, В.Соха, А.Дехно), Будиндустрия (Т.Бабаевская), Sika, Marei, Мастер. В них показано, что для обеспечения эффективности ПЦРП целесообразно введение добавок, содержащих полимерные и минеральные компоненты, выполняющие соответствующие функции. В то же время необходимо расширение методической базы поиска материалов исходя из требований технологии и условий их работы.

Ремонт железобетонных конструкций предполагает, по сути, создание композитной «ремонтной системы», основными элементами

которой являются существующий субстрат (поверхность конструкции), контактная прослойка и сам ремонтный материал [3]. Каждый из этих элементов обладает определенным набором свойств, необходимых для обеспечения совместимости (химической, электрохимической, физической, термической и др.) ремонтной системы в целом (L.Czarniecki, Emmons P.H. [4]). Это приводит к необходимости учета фактора совместимости как минимум, физических свойств, на что направлена и реализация стандарта [5].

Для проектирования технологии ремонтных работ необходимо знание физико-химических свойств растворов и закономерностей при изменении различных рецептурно-технологических факторов, в том числе типов и дозировок модифицирующих добавок, исходя из двух важных причин:

- чтобы улучшить структуру и получить необходимые свойства растворов;

- для определения оптимальных условий работы оборудования, расчетов расходуемой энергии и контроля качества.

Во всех экспериментах по D-оптимальным планам варьировались в составе сухих смесей дозировки трех добавок:

- **ускоритель** ( $УСК=X_1=0...4\%$  от массы цемента) в виде порошка алюмината натрия  $NaAlO_2$ . Добавка уменьшает щелочность среды (жидкой фазы цементного теста – цементного камня) и ускоряет процессы гидролиза и гидратации;

- **редиспергируемый порошок** DA 1400 VA-E ( $РДП=X_2=0...4,0\%$ ) полученный методом распылительной сушки латексной эмульсии (дисперсии полимерных частиц в воде). При затворении водой РПП вновь образуют водные полимерные дисперсии в виде сополимера винилацетата и этилена, образующего полимерную сетку, усиливающую структурные связи;

- **суперадсорбент полимер** AquaGel ( $САП=X_3=0...0,4\%$ ) , полученный на основе анионного поликриламида. В процессе твердения капсулированная в САП вода перемещается обратно в раствор, обеспечивая нормальный процесс гидратации.

На фиксированных уровнях закреплены дозировки **стабилизатора** вязкости WeKcelo MP 150 HMR – гидроксипропилметилцеллюлозы (0,01%), повышающего водоудерживающую способность растворов, **суперпластификатора** на нафталинформальдегидной основе (0,3%), **микронаполнителя** – высокоактивного метакаолина (10 %) (нанокристаллизатора Centrilit NC с частицами  $\sim 0,1\ \mu m$ ), отобранного при сопоставлении ряда других добавок (микрокремнезем, зола-уноса и др.). Использован цемент Ольшанского завода ПЦ I-500 (ОАО

"Югцемент") и кварцевый песок фр. 0,15-0,63 мм (по рекомендации специалистов Henkel Bautechnik) в соотношении 1:1 по массе.

Исследование реологических свойств полученных композиций (**вязкость, предельное напряжение сдвига, тиксотропия**) велось на вискозиметре Rheotest RN 4 с коаксиальными цилиндрами. Измерительный привод реометра позволяет производить измерения в обоих режимах: при контролируемом напряжении (CS – Controlled Stress) или скорости сдвига (CR – Controlled Rate).

Зависимости в виде экспериментально-статистических моделей (ЭС-моделей) рассчитаны с помощью программы COMPEX (кафедра ПАТСМ). Помимо трехмерных диаграмм, для анализа использованы обобщающие зависимости влияния каждой добавки  $x_j$  при закреплении остальных на уровнях  $x_j$  экстремальных значения исследуемого показателя (в зоне «максимума»  $Y_{\max}$  и «минимума»  $Y_{\min}$ ).

Реологические свойства ПЦРР рассматривались в широком диапазоне скоростей (рис.1, а), характерном для технологии переработки и нанесения смесей. Полученные по плану В<sub>3</sub> 15 композиций (при изменении дозировок ускорителя –  $X_1$ , РДП –  $X_2$  и САП –  $X_3$ ) характеризовались, исходя из требований технологичности, одинаковым распылом мини-конуса (что достигалось за счет корректировки воды затворения). В то же время они отличаются количественными показателями эффективной вязкости и предельного напряжения сдвига.

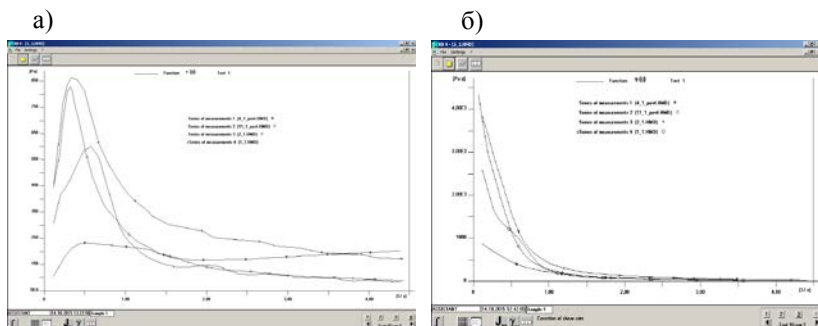


Рис.1. Экспериментальные зависимости предельного напряжения сдвига (а) и вязкости (б) композиций от скорости деформаций

Влияние трех добавок на предельное напряжение сдвига при уровне риска  $\alpha = 0,1$  описывается в логарифмическом масштабе моделью

$$\ln = 6,467 - 0,289x_2 + 0,378x_2^2 + 0,291x_3 - 0,432x_3^2 + 0,201x_2x_3 \quad (1)$$

Анализ показывает, что на предельное напряжение сдвига влияют добавки РДП и САП. Наибольшие изменения реологии происходят при модифицировании смесей добавкой редиспергируемого порошка.

С увеличением количества РДП показатель предельного напряжения сдвига (рис.2а) снижается как в зоне максимума, так и в зоне минимума вследствие частичного разрушения пространственной структуры. Возможно, этому способствует электростатическое отталкивание отрицательно заряженных частиц дисперсной фазы и сополимера. Также снижается и вязкость (рис.2б) при скоростях деформаций более  $3 \text{ с}^{-1}$ . С практической точки зрения раствор, обладая такими характеристиками, легко перемешивается и заполняет пустоты.

Аппроксимация полученных кривых течения  $\tau = f(\dot{\gamma})$  различными реологическими зависимостями (Гершеля-Балкли, Бингама, Оствальда-де-Вейля, Кэссона и др.) [6] показала, что исходя из точности и простоты, целесообразно использовать для описания трехпараметрическую модель Гершеля-Балкли [7]:

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

где  $\tau_0$  – предельное напряжение сдвига, Па;  $K$  – коэффициент, пропорциональный вязкости при единичной скорости деформаций  $\dot{\gamma} = 1 \text{ с}^{-1}$ ;  $n$  – индекс течения.

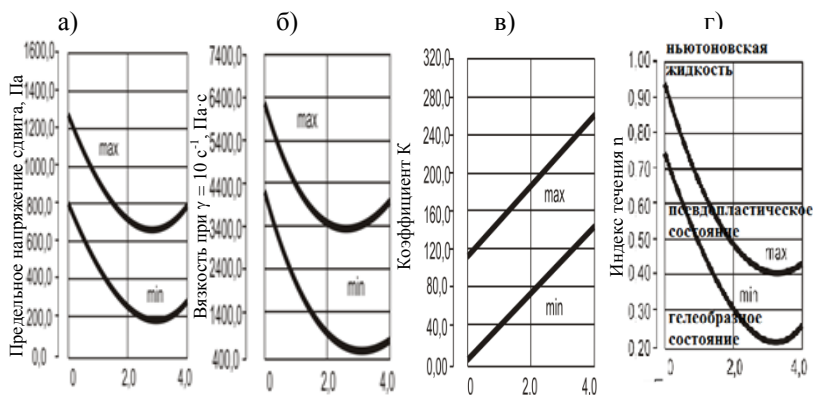


Рис.2. Влияние РДП на предельное напряжение сдвига (а) и вязкости при скорости деформаций  $\dot{\gamma} = 10 \text{ с}^{-1}$  (б), а также коэффициент  $K$  (в) и индекс течения  $n$  (г)

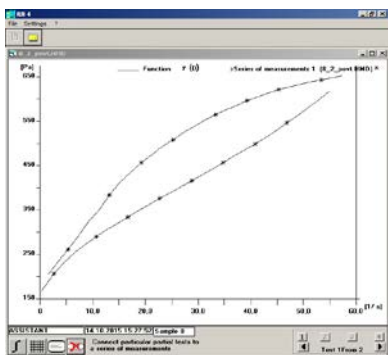
По зависимостям (1) для каждой строки плана рассчитаны значения констант  $K$  и  $n$ . Диапазон  $n$  изменялся от 0,2 до 0,9 – следовательно, все растворы относятся к псевдопластическим жидкостям с разной чувствительностью к сдвиговым деформациям [8-10].

На фоне уменьшения предельного напряжения сдвига и динамической вязкости (в диапазоне скоростей =10...140 с<sup>-1</sup>) при повышении количества РДП, коэффициент  $K$  возрастает в 3 раза (рис.2, в) при уменьшении индекса  $n$  течения в 2 раза (рис.2, г). В области высокой концентрации РДП возможен переход раствора от псевдопластического в гелеобразное состояние при  $n < 0,2$ . Такое изменение реологических параметров характеризует различие деформационного поведения системы в зависимости от содержания полимерной добавки и скорости сдвига, что должно быть учтено при разработке рецептур ремонтных растворов.

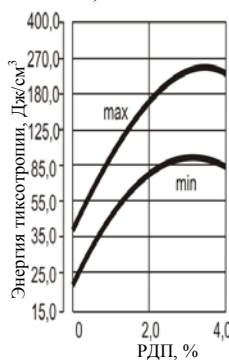
Напряжение сдвига в период убывающих скоростей запаздывает по сравнению с периодом их возрастания. В результате восходящие и нисходящие кривые течения образуют «петлю гистерезиса» (рис. 3, а) [6], площадь  $E^T$  которой пропорциональна энергии разрушения структуры и характеризует способность к восстановлению после снятия приложенной нагрузки [11-13].

**При повышении тиксотропных свойств** рассматривались зависимости влияния добавок на показатель  $E^T$ . Введение РДП приводит к увеличению  $E^T$  (рис.3, б), что указывает и на ослабление коагуляционных связей и на увеличение тиксотропных свойств композиций без повышения вязкости. В этом случае следует ожидать, что раствор не стекает при нанесении на наклонную или вертикальную поверхность [6]. Существует возможность усиления тиксотропии при совмещении РДП и САП = 0,2...0,4 % (рис.3, в).

а)



б)



в)



Рис.3. Область тиксотропии (а) для контрольного состава и обобщенные зависимости влияния РДП (б) и САП (в) на показатель  $E^T$

### **Выводы**

Таким образом, при исследовании реологических зависимостей полимерцементных смесей для ремонта и восстановления строительных объектов установлен факт повышения тиксотропии за счет введения добавок редиспергируемого порошка и полимера суперадсорбента без повышения пластической вязкости и предельного напряжения сдвига. Это должно гарантировать нестекание смесей при ремонте наклонных и вертикальных поверхностей поврежденных конструкций, обеспечивая при этом улучшенную обрабатываемость и высокое качество ремонтных работ.

### **Summary**

**Presented work carried out experimental evaluation and modeling the influence of mineral- and polymer-based modifiers at complex of rheological parameters of repair compositions for recovery and restoration of building objects. We proposed and investigated a complex of direct and summarizing effectiveness criteria of chemical additives (mixture's flow index and others.). During the study of dependences and criteria we established the fact of increasing of mixtures' thixotropic rate by adding redispersible powder and superabsorbent polymer without increasing the plastic viscosity of the system and the limit value of shear stress.**

### **Литература**

1. ДСТУ Б В.2.7-46-96. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення (Технічні умови). – [Чинний від 01-01-97]. – К.: Держкоммістобудування України, 1996. – 15 с.
2. EN 1504-10:2003. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions. Requirements. Quality control and evaluation of conformity. Site application of products and systems and quality control of the works. – [15.01.2004]. – EUSC. – 51 p.
3. Гедулян С. И. Совместимость как критерий отбора эффективных материалов для ремонта бетонных и железобетонных конструкций / Гедулян С. И., Коваль С. В., Савченко С. В. // Мат-лы междунар. конф. «Структурообразование, прочность и разрушение

композиционных строительных материалов и конструкций». Вісник ОДАБА, вип. №53. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2014. – 82-87 с.

4. Czarnecki L. Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych / Czarnecki L., Emmons P. H. // Polski Cement, #8(11), Kraków, 2002. – Ss. 44-45.

5. EN 1504:2005. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. – [23.06.2005]. – EUSC. – 344 p.

6. Schramm G. A Practical Approach to Rheology and Rheometry / Schramm G. – 2nd Edition – Gebrueder HAAKE GmbH, Karlsruhe, Federal Republic of Germany, 2000. – 291 p.

7. Райнер М. Реология / Райнер М. – М.: Наука, 1965. – 223 с.

8. Кривые течения. Онлайн-библиотека лекционного материала «Лекциопедия» // <http://lektsiopedia.org/lek-276.html>.

9. Фролов Ю. Г. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебн. пос. / Фролов Ю. Г. – М.: Химия, 1988. – 422 с.

10. Вознесенский В. А. Влияние полимерной фибры на эффективную вязкость полимерминеральных композиций при разных скоростях сдвига / Вознесенский В. А., Ляшенко Т. В., Крюковская С. А., Пищева Т. И. // Вісник ДНАБіА, вип. №1(81), 2010. – 226-232 с.

11. Green H., Weltmann M. // Alexanders Colloid Chem , #6, 1946. – 328 p.

12. Голомб Л. М. Физико-химические основы технологии выпускных форм красителей / Голомб Л. М. – Л.: «Химия», 1974. – 224с.

Пивинский Ю. Е. Реология дилатантных и тиксотропных дисперсных систем / Пивинский Ю. Е. – СПб: РИО СПбГТИ(ТУ), 2001. – 174 с.