

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МАТЕРИАЛА КОНСТРУКЦИИ

**Непомнящий А.Н.**, аспирант  
**Выровой В.Н.**, д.т.н., профессор

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
wolker08@mail.ru

**Аннотация.** Способность материалов сохранять требуемый набор свойств, при действии на изделия и конструкции эксплуатационных нагрузок определяется структурными изменениями, которые обязательно происходят при таких нагрузках. Изменение структуры связано с изменением параметров активных элементов, к которым отнесены технологические трещины (ТТ) и внутренние поверхности раздела (ВНР). Поэтому является важным обнаружение и фиксация трещин и внутренних поверхностей раздела, что позволяет количественно оценить интегральную поврежденность материала строительных конструкций для прогнозирования их безопасного функционирования. В работе предложены и апробированы методы визуализации активных элементов структуры строительных композиционных материалов на неорганических вяжущих. Разработанный метод основан на изменении цветовой окраски индикаторов (танин содержащих и антоциан содержащих) в зависимости от Ph среды, которая изменяется в районе выхода трещин и внутренних поверхностей раздела на поверхность изделия. Проанализировано четыре типа индикаторов. Предложенный метод визуализации активных элементов позволяет количественно оценить начальную поврежденность и определить её при действии на строительные конструкции различных силовых и климатических многократно повторяющихся нагрузок.

**Ключевые слова:** трещины, внутренние поверхности раздела, поврежденность, щёлочность, танины, антоцианы.

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ПОШКОДЖЕНОСТІ МАТЕРІАЛУ КОНСТРУКЦІЇ

**Непомнящий О.Н.**, аспірант  
**Вировой В.М.**, д.т.н., професор

*Одеська державна академія будівництва і архітектури*  
wolker08@mail.ru

**Анотація.** Здатність матеріалів зберігати необхідний набір властивостей, при дії на вироби і конструкції експлуатаційних навантажень визначається структурними змінами, які обов'язково відбуваються при таких навантаженнях. Зміна структури пов'язана зі зміною параметрів активних елементів, до яких віднесено технологічні тріщини (ТТ) і внутрішні поверхні розділу (ВНР). Тому є важливим виявлення і фіксація тріщин і внутрішніх поверхонь розділу, що дозволяє кількісно оцінити інтегральну пошкодженість матеріалу будівельних конструкцій для прогнозування їх безпечного функціонування. В роботі запропоновані та апробовані методи візуалізації активних елементів структури будівельних композиційних матеріалів на неорганічних в'язучих. Розроблений метод заснований на зміні кольору забарвлення індикаторів (таніновмістних і антоціановмістних) в залежності від Ph середовища, яка змінюється в районі виходу тріщин і внутрішніх поверхонь розділу на поверхню виробу. Проаналізовано чотири типи індикаторів. Запропонований метод візуалізації активних елементів дозволяє кількісно оцінити початкову пошкодженість і

визначити її при дії на будівельні конструкції різних силових і кліматичних багаторазово повторюваних навантажень.

**Ключові слова:** тріщини, внутрішні поверхні розділу, пошкодженість, лужність, таніни, антоціани.

## ANALYSIS OF METHODS QUANTIFYING DAMAGE OF MATERIAL CONSTRUCTION

**Nepomnyashchy A.N.**, post-graduate student

**Vyrovoy V.N.**, Doctor of Engineering, Professor  
*Odessa State Academy of Building and Architecture*  
wolker08@mail.ru

**Abstract.** The ability of materials to store the desired set of properties when exposed to the product and design service loads defined by the structural changes that are sure to occur under such loads. Changing the structure due to the change in the parameters of active elements into which the cracks and internal interface. Therefore, it is important to detect and fixation cracks and internal interfaces, which allows to quantify the cumulative damage to the material construction of structures to predict their safe functioning. The work proposed and tested methods of visualization of the active elements of the structure of building composite materials on inorganic binders. The developed method is based on the color change of color indicators (tannin and anthocyanin containing) according to Ph environment that varies in cracks and exit area of interface to the surface of the product. We analyzed four types of indicators. The proposed active elements visualization method allows quantifying the initial lesion and identifying it by the action on building structures of various power and climate repetitive loads.

**Keywords:** fracture, internal interface, damage, alkalinity, tannins, anthocyanins.

**Введение.** Трещины являются объективно существующими элементами структуры, в значительной степени определяющими уровень свойств бетона и условия безопасной работы железобетонных конструкций [1-3]. Для количественной оценки технологической и эксплуатационной поврежденности в работах [2, 4, 5] предлагается использовать коэффициент поврежденности. Использование коэффициента поврежденности позволяет установить связь между количеством трещин и прочностными и деформационными свойствами строительных композитов:

– оценить влияние поврежденности на трещиностойкость (вязкость разрушения) строительных материалов;

– количественно оценить изменения поврежденности при действии на материал конструкции внешних воздействий окружающих сред и силовых статических и динамических нагрузок.

В силу того, что разрушение происходит путем развития трещин, то можно заключить, что анализ кинетики развития путём изменения поврежденности позволит проследить историю эволюции структуры на протяжении всего жизненного цикла конструкции. Для этого необходимо выявлять, идентифицировать, закрепить и количественно описать трещины на различных уровнях материалов полиструктурного строения. В связи с этим, была определена задача исследования: предложить и апробировать методы обнаружения и фиксации трещин и внутренних поверхностей раздела в строительных материалах на основе минеральных вяжущих.

**Методика проведения исследования.** В качестве базового метода обнаружения технологических трещин в цементном камне и бетоне был принят способ, описанный в патенте Украины № 5735 29.12.1996 года [6]. Суть метода заключается в том, что образец или фрагмент образца помещался на фиксированное время в водный раствор танина в заданной концентрации, после чего извлекался и высушивался при температуре 100°C. На

открытых поверхностях образцов «отпечатывался» рисунок трещин, что позволяло измерить их общую протяжённость и соотнести длину трещин с площадью поверхности, на которой они проявились.

Методика выявления ТТ и ВПР основана на способности веществ определённого вида менять свою окраску в зависимости от щелочности среды с которой они взаимодействуют. К таким веществам, как показал анализ литературных данных, относятся природные танино- и антоцианосодержащие вещества. Схема изменения Ph в материале представлена на рис. 1.

Танины, или таннины (от фр. *tannin*) – группа фенольных соединений растительного происхождения, содержащих большое количество групп –ОН. Танины содержатся в коре, древесине, листьях, плодах (иногда семенах, корнях, клубнях) многих растений – дуба, каштана, акации, ели, лиственницы, тсуги канадской, эвкалипта, чая, какао, гранатового дерева, черёмухи, хурмы, хинного дерева, сумаха, квебрахо и других. В промышленности танины используются для дубления кожи и меха, приготовлении чернил, протравливания текстильных волокон, придания различным напиткам терпкого и вяжущего вкуса и как пищевой краситель. Опыт показал, что только органические танины подходят для эксперимента, так как синтетические танины не являются красителями в отличие от большинства природных соединений.

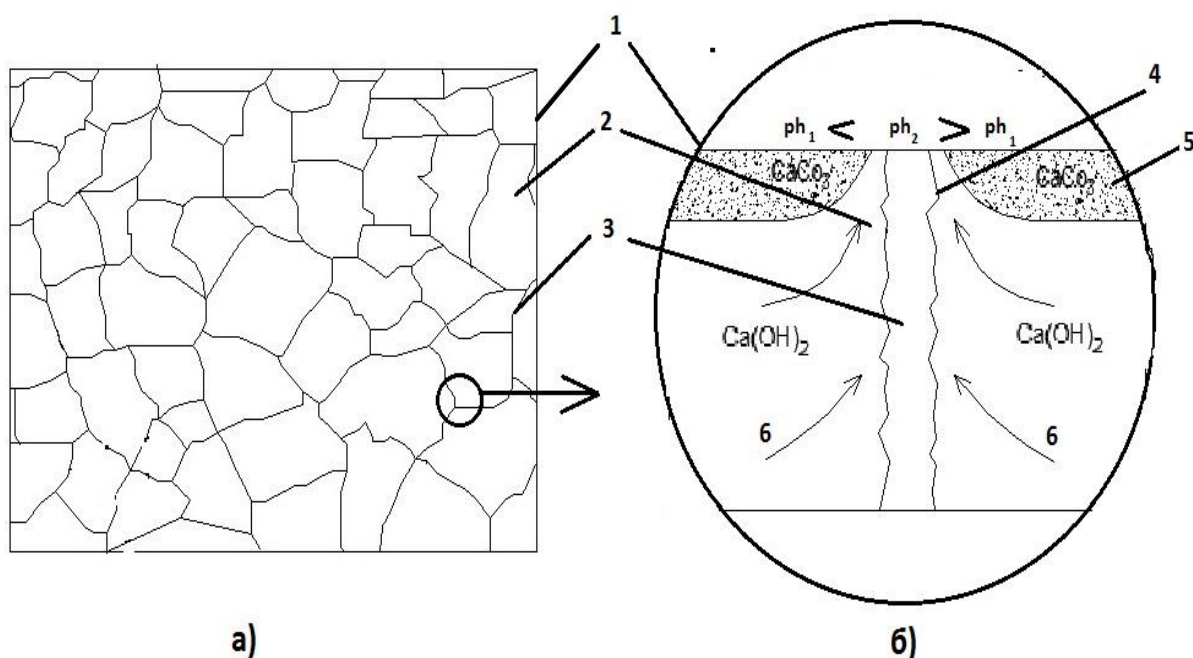


Рис.1 Схема изменения Ph в образцах с трещинами:

- а – фрагмент образца; б – схема изменения Ph; 1 – образец; 2 – структурный блок; 3 – технологические трещины и внутренние поверхности раздела; 4 – берега трещин и ВПР; 5 – частично карбонизированная поверхность образца; 6 – направление миграции поровой жидкости

Количество танинов (дубильных веществ) составляет 15...30% массы чайного листа. Концентрация дубильных кислот в зелёном чае почти 100%, а в чёрном только 50% от лиственной массы. В чёрных сортах южноазиатских (индийский, цейлонский, яванский) чаях концентрация дубильных кислот выше, чем в китайских, грузинских, краснодарских и т.д. В листьях грузинских сортов июльских и августовских сборов танина содержится значительно больше, чем в майских и сентябрьских. [7]

Антоцианы (от греч. *ανθος* – цветок и греч. *κυανός* – синий, лазоревый) – окрашенные растительные гликозиды. В природе окраска многих цветков и листьев на деревьях зависит от Ph клеточного содержимого. Раствор антоцианов в кислой среде имеет красный цвет, в нейтральной – сине-фиолетовый, а в щелочной – желто-зеленый [8].

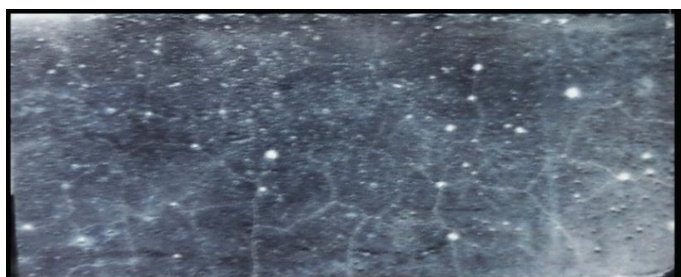
Многие антоцианы достаточно хорошо растворимы, например, при экстракции виноградного сока из кожуры плодов они переходят в красные вина. Сок из красной капусты или столовой свёклы нередко используют в качестве индикаторов щёлочности.

В наших опытах по обнаружению и фиксации трещин и внутренних поверхностей раздела был использован индикатор, полученный из настойки краснокочанной капусты. Измельчённая капуста обрабатывалась кипятком. После настаивания в течение 20 минут полученный раствор фильтровался и смешивался с раствором бриллиантового зелёного, а затем наносился на поверхность высушенных в сушильном шкафу при температуре  $100 \pm 5$  до постоянной массы образцов. В работе [9] представлены изменения окраски при разных значениях  $\text{pH}$ .

В качестве объектов анализа использованы балочки из цементного раствора размером  $4 \times 4 \times 16$  ( $\text{В/Ц} = 0,32$ ) после твердения в нормальных условиях. Образцы помещались в водный раствор  $\text{pH}$  индикаторов (для танинов – концентрацией 50г таниносодержащегося элемента на 1 л воды, для антоцианов – 1г зелёнки на 14г раствора) на 4...5 часов, после образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре  $100 \pm 5$ , и производилась фото-фиксация полученного «узора» трещины, рис 2.



а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Фотографии балочек обработанных разными видами таниносодержащих растворов: а – зелёный чай; б – настойка на дубовой коре; в – чёрный чай; г – антоциан содержащийся раствор с бриллиантовым зелёным

Обнаруженные и зафиксированные трещины и внутренне поверхностей раздела позволяют количественно оценить поврежденность образцов путём определением коэффициента поврежденности  $K_n$ .

В опытах было исследовано 4 вида индикаторов (чай зелёный, чай чёрный, кора дуба, бриллиантовый зелёный с антоцианом). Для улучшения качества полученных результатов все трещины были выделены с помощью программы AutoCAD. Это позволило оценить общую протяженность трещин для каждого вида индикатора. В зависимости от вида индикатора значение коэффициента поврежденности изменялись следующим образом: для зелёного чая  $K_n = 0,018$ , чай чёрный  $K_n = 0,015$ , кора дуба  $K_n = 0,019$ , зелёнка с антоцианом  $K_n = 0,021$ . Коэффициент поврежденности определялся как суммарная протяжённость обнаруженных трещин к площади поверхности, на которой они проявились. Общая протяженность  $L$  определяется как сумма длин активных элементов:

$$L = \sum_1^n K_n = L/S,$$

где  $S$  – площадь поверхности образца, на которой проявились трещины.

Предложенный метод позволяет оценить изменение интегральной поврежденности после структурных изменений, произошедших в материале при и после действия внешних воздействий. Изменение поврежденности после внешних воздействий, как показали исследования, можно оценить из выражения:

$$\Delta K_n = K_n / K_{по},$$

где  $K_{по}$  – коэффициент технологической поврежденности;  $K_n$  – коэффициент поврежденности после воздействия на систему эксплуатационных нагрузок [5].

**Выводы.** Анализ полученных результатов показал одинаковую способность танино- и антоциан содержащих элементов проявлять и фиксировать активные элементы структуры (трещины и внутренние поверхности раздела). Это даёт возможность более широкого выбора индикаторов для обнаружения активных элементов в образцах конструкции. Использование предложенных индикаторов для обнаружения и фиксации трещин и внутренних поверхностей раздела даёт возможность количественно оценить начальную поврежденность и определить её изменение в период воздействия на материал эксплуатационных нагрузок.

## Литература

1. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.
2. Дорофеев В.С. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций / В.С. Дорофеев, В.Н. Выровой. – Одесса: Город мастеров, 1998. – 168 с.
3. Зайцев Ю.В. Прочность и долговечность конструкционных материалов с трещиной: монография / Ю.В. Зайцев, С.Н. Леонович. – Минск: БНТУ, 2010. – 362 с.
4. Соломатов В.И. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – Киев: Будівельник, 1991. – 144 с.
5. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции, структура, самоорганизация свойства / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. – Одесса: «ТЕС» 2010. – 166 с.
6. Интернет ресурс <http://patent.km.ua/ukr>
7. Интернет ресурс / <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
8. Ветчинский К.М. Растительный индикатор / К.М. Ветчинский. М.: Просвещение, 2002. – 256 с.
9. Меженский В.Н. Растения-индикаторы / В.Н. Меженский. М.: АСТ; Донецк: Сталкер, 2004. – 80 с.