

УДК 69.002.32; 620.193.21

На основі результатів дослідження динаміки змочуваності поверхні в процесі експлуатації різних фасадних систем встановлено критерій їх біологічної витривалості та розроблено методіку експрес-оцінки біостійкості фасадних матеріалів

Ключові слова: фасадні матеріали, біологічна стійкість, змочування

На основе результатов исследования динамики смачиваемости поверхности в процессе эксплуатации различных фасадных систем установлен критерий их биологической устойчивости и разработана методика экспресс-оценки биостойкости фасадных материалов

Ключевые слова: фасадные материалы, биологическая устойчивость, смачивание

Based on the results of surface wetting dynamics studying during the operation of various facade systems a criterion for their biological stability is established and the rapid assessment method of facade materials biological stability is developed

Keywords: facade materials, biological stability, moistening

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ БИОУСТОЙЧИВОСТИ ФАСАДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Л. С. Коц

Научный сотрудник
Университет технологии, бизнеса и дизайна
г. Висмар, Германия
Philipp-Müller-Str. 14, 23966 Wismar, BRD
Контактный тел.: (+49) 176 48185154
E-mail: lev.koss@hs-wismar.de

Анализ проблемы и постановка задачи исследований

Среди широкого ассортимента материалов, применяемых в строительной индустрии, важную роль в настоящее время играют фасадные системы, что связано с массовой модернизацией существующих зданий с целью улучшения их эстетических, энергосберегающих и защитных характеристик. Ввиду высокой стоимости модернизации зданий представляется важным предварительная оценка стойкости поверхностного слоя разных фасадных продуктов к воздействию агрессивных факторов окружающей среды, в частности, биологической устойчивости.

Для облицовки фасадных поверхностей используют как традиционные материалы (лицевой и клинкерный кирпич, керамические плиты и плитки), так и альтернативные продукты – минеральные и синтетические штукатурки, лакокрасочные покрытия на различных основах и др.

Как известно, теплоизоляция зданий в условиях влажного климата приводит к продолжительному сохранению влаги на фасадах и, как следствие, появлению на них трудноудаляемых биогазряднений, вызванных ростом водорослей, плесени, лишайников и других биологических культур [1]. Водоросли – одноклеточные организмы, которые легко распространяются ветром и могут задерживаться и приживаться на фасадах. Для их жизнедеятельности необходимы: свет, влага, двуокись углерода из воздуха и температура среды от 5 до 25 °С. На сильно выветренных, плохо высыхающих фасадах водоросли быстро размножаются, образуя колонии зеленого, красного или коричневого цвета. Такие образования на фасадах являются исключи-

тельно оптическим дефектом из-за неравномерности цветовых характеристик (рис. 1), однако их симбиоз с микроорганизмами, грибами, лишайниками и бактериями может привести к возникновению ряда проблем. Следствием этого могут стать неприятный запах, аллергические реакции у жителей, повышенная влажность фасада, снижение его прочности и даже разрушение, которое проявляется в виде локальной коррозии (выкрашивания) либо отделения поверхностного слоя. Существует также проблема сдачи биологически «пораженного» жилого фонда в наем.



Рис. 1. Пример биогазряднения фасада здания (северная Германия)

В настоящее время для проверки фасадных систем на биоустойчивость применяется метод, заключающийся в выветривании и биозаражении проб на испытательных стендах, устанавливаемых на «полигонах» с подходящими климатическими и биологическими условиями. Под выветриванием понимается процесс механического разрушения и изменения химического состава материала и составляющих его компонентов под воздействием факторов окружающей среды: температурных колебаний, воды, ветра, микроорганизмов и т.д. Реализация таких испытаний – длительный процесс, который может продолжаться несколько лет. Группой ученых Университета технологии, бизнеса и дизайна (г. Висмар, Германия) изучалась возможность сокращения сроков тестирования фасадных продуктов на климатическую и биологическую устойчивость путем использования современных методов оценки стабильности их физико-химических свойств.

Целью данной работы являлось создание лабораторного экспресс-теста биостойкости фасадных материалов на основе регистрации изменений смачивающих свойств их поверхности.

Теоретические предпосылки получения биостойких материалов

Поскольку жизнеспособность микроорганизмов определяется наличием водной среды, логичным является предположение, что стойкость к биопоражению фасадных материалов во многом зависит от свойств их поверхности по отношению к воде, т.е. способности смачиваться. Смачивание определяется соотношением сил сцепления молекул жидкости и смачиваемого тела (адгезия) и сил взаимного сцепления молекул жидкости (когезия). При смачивании твердого тела жидкостью возможны два случая:

- молекулы жидкости притягиваются друг к другу сильнее, чем к молекулам твердого тела. Силы притяжения между молекулами жидкости собирают её в каплю, и жидкость не смачивает поверхность. Поверхность в этом случае гидрофобна;
- молекулы жидкости притягиваются друг к другу слабее, чем к молекулам твердого тела. В этом случае жидкость расплывается по поверхности твердого тела и смачивает ее. Поверхность является гидрофильной.

Степень смачивания материала характеризуется краевым углом смачивания θ , образуемым поверхностью твердого тела и плоскостью, касательной к поверхности жидкости, граничащей с телом (рис 2).

Равновесное значение угла смачивания определяется тремя значениями поверхностного натяжения σ на границах соприкасающихся фаз:

$$\cos \theta = (\sigma_{ТГ} - \sigma_{ТЖ}) / \sigma_{ЖГ}, \quad (1)$$

где θ – равновесный краевой угол смачивания.

Чем меньше угол смачивания (больше $\cos \theta$), тем лучше смачивание твердой поверхности. Для идеально смачиваемых поверхностей $\theta = 0^\circ$, для идеально несмачиваемых θ может достигать 180° . Пограничным между двумя видами поверхностей (гидрофильными

и гидрофобными) является значение краевого угла смачивания равное 90° .

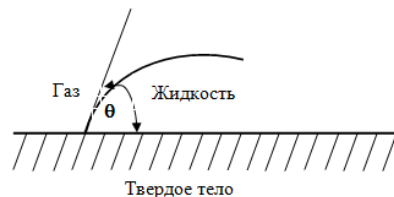


Рис. 2. Смачивание твердой поверхности жидкостями

Методика исследований

Определение краевого угла смачивания производили с использованием комплекса ОСА-20 (рис. 3), снабженного видеокамерой CCD с разрешением 768x576 пикселей и производящего до 50 измерений в секунду [2]. Капля воды помещалась на поверхность пробы, расположенной между источником света и CCD-камерой. Краевой угол смачивания рассчитывается компьютерной программой на основе результатов измерения угла между линией контакта поверхности материала с жидкостью и проложенной касательной (рис. 4). Устройство осуществляет как статические, так и динамические измерения краевого угла смачивания.

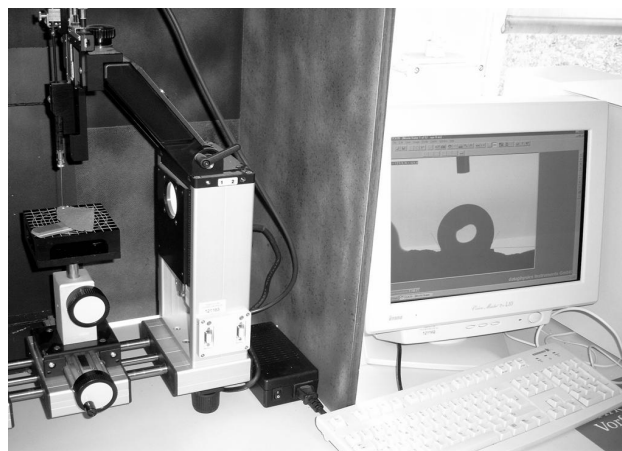


Рис. 3. Измерение краевого угла смачивания с помощью ОСА-20

При статическом методе изображение капли фиксируется сразу после ее нанесения на исследуемую поверхность, после чего определяются краевой угол смачивания (среднее значение угла при левой и правой касательной (см. рис. 4). При этом основной проблемой является регистрация угла измерительным прибором в начальный момент после стабилизации капли, т.к. он может сильно изменяться в течение короткого времени.

При динамическом измерении краевого угла смачивания регистрируется его изменение в выбранном интервале времени (рис. 5). После нанесения капли воды на исследуемую поверхность производится регистрация и запись величины краевого угла смачивания

через установленные промежутки времени в течении выбранного временного интервала. По значению краевого угла смачивания, лежащему ниже или выше граничной величины ($\theta = 90^\circ$ штриховая линия), поверхности подразделяются соответственно на смачиваемые или водоотталкивающие.

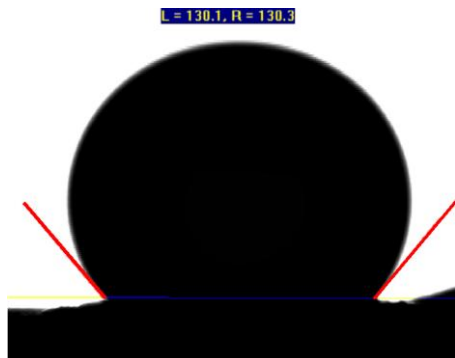


Рис. 4. Статическое изображение капли воды на поверхности материала

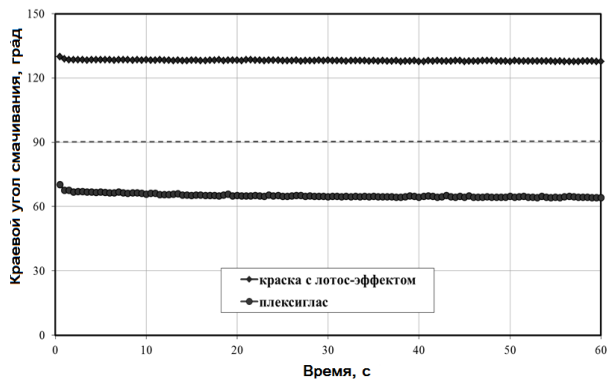


Рис. 5. Примеры динамических измерений краевого угла смачивания

Для качественной и количественной оценок наличия водорослей на поверхностях фасадов и проб использовалось устройство Imaging-PAM (далее - PAM) производства Heinz Walz GmbH [3] (рис.6).

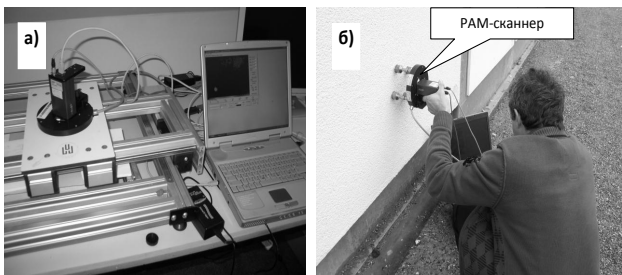


Рис. 6. Применение PAM-диагностики для количественной оценки поражения фасадных систем водорослями в лаборатории (а) и на объекте (б)

В основе PAM-диагностики лежит феномен флуоресценции хлорофилла: при попадании света на молекулу хлорофилла происходит ее возбуждение, что приводит к самопроизвольной эмиссии света. Действие

PAM-флуориметров основано на принципе пульс-амплитудной модуляции (Pulse Amplitude Modulation или PAM). Их применение позволяет получить детальную информацию о процессах фотосинтеза, как целого растения, так и его отдельных клеток.

Измерение флуоресценции хлорофилла с помощью импульсной амплитудной модуляции предоставляет исследователям возможности проводить высокоточные измерения среднего квантового выхода флуоресценции хлорофилла (Φ_F). Эта величина представляет собой отношение числа выпущенных фотонов к числу поглощенных фотонов в процессе фотосинтеза:

$$\Phi_F = N_F / N_A \tag{2}$$

Φ_F – средний квантовый выход флуоресценции хлорофилла

N_F – число выпущенных фотонов

N_A – число поглощенных фотонов

Средний квантовый выход флуоресценции освещенной поверхности, заселенной водорослями, пропорционален количеству биомассы, присутствующей на пробе. Таким образом, можно утверждать, что этот параметр характеризует степень поражения поверхности водорослями. Данный параметр введен нами в практику исследований фасадных продуктов для классификации биозаражения (табл. 1) [5].

Таблица 1

Интенсивность заражения [5]

Кат	Средний квантовый выход флуоресценции $\Phi_F \cdot 10^{-2}$	Заселение водорослей	
		Интенсивность	Визуальность
0	$\leq 1,0$	отсутствует	Визуально не различимо
1	1,1 - 2,0	очень слабое	
2	2,1 - 4,0	слабое	Различно
3	4,1 - 8,0	среднее	
4	8,1 - 16,0	сильное	
5	$> 16,1$	очень сильное	визуально без вспомогательных средств

Установление критерия биологической устойчивости материалов

Угол смачивания характеризует способность жидкости (воды) растекаться по поверхности твердого тела, но не несет никакой информации о том, впиталась ли вода в открытые поры, скатилась ли в виде капель, испарилась ли с фасада или осталась на поверхности в виде пленки. Поэтому прямой корреляции между показателями краевого угла смачивания и биологической устойчивостью быть не может. На рис. 7 представлена графическая интерпретация статистического анализа средних значений краевого угла смачивания, измеряемого с шагом 0,2 с в течении 30 с и средних значений квантового выхода флуоресценции Φ_F . Выборка сделана на основании измерений 50 фасадных материалов с объектов Северной Германии, модернизированных с использованием различных фасадных системам.

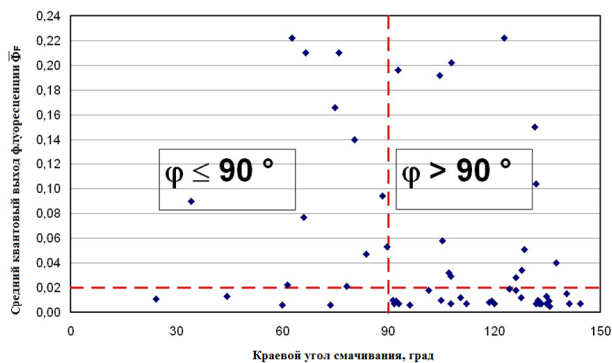


Рис.7. Пример, иллюстрирующий отсутствие корреляции между краевым углом смачивания и средним квантовым выходом флуоресценции

Анализ рисунка позволяет сделать вывод о том, что никакой корреляции, между значением угла смачивания и фактора, характеризующего степень поражения поверхности водорослями (Φ_F), не наблюдается: значения краевого угла смачивания лежат по обе стороны от линии раздела «водоотталкивание-смачивание» независимо от значений среднего квантового выхода флуоресценции.

На следующем этапе разработок было проверено предположение о возможности использования в качестве критерия для оценки биостойкости материалов разницы краевого угла смачивания до и после выветривания. В результате проведенных исследований также не было найдено достоверной корреляции между изменением краевого угла смачивания (его разницей до и после выветривания), с одной стороны, и средним квантовым выходом флуоресценции, определяющим степень предрасположенности к заселению водорослями, с другой (рис. 8). При этом, однако, была установлена тенденция уменьшения биостойкости с увеличением разницы между показателями смачивания до и после выветривания.

В связи с вышеизложенным для оценки биостойкости материалов нами были предложены следующие критерии:

- Средний краевой угол смачивания (среднее значение измерений для 30 с):

$$\bar{\theta} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{n=1}^k \theta_n \quad (6)$$

- Средняя скорость изменения краевого угла смачивания (скорость смачивания):

$$\bar{v}_\theta = \frac{\theta_{n-1} - \theta_n}{t} \quad (7)$$

где $\bar{\theta}$ – среднее значение краевого угла смачивания,

град; θ_n – текущие значения краевого угла смачивания, град; n – номер текущего измерения; k – количество измерений; v_θ – среднее значение скорости

изменения краевого угла смачивания град/с; t – время измерения краевого угла смачивания, с.

В результате сравнительной оценки предложенных в качестве дополнительного критерия, характеризующего интенсивность заселения фасадных материалов водорослями был введен коэффициент дестабилизации угла смачивания K_{dst} , который определяется как разность средних значений скорости измерения угла смачивания выветренных и эталонных проб:

$$K_{dst} = \bar{v}_{\theta_{выветр.}} - \bar{v}_{\theta_0} \quad (8)$$

где K_{dst} – коэффициент дестабилизации краевого угла смачивания, град /с;

$v_{\theta_{выветр.}}$ – среднее значение скорости изменения кра-

евого угла смачивания, град/с (для выветренных проб); v_{θ_0} – среднее значение скорости изменения кра-

евого угла смачивания, град/с (для эталонных проб).

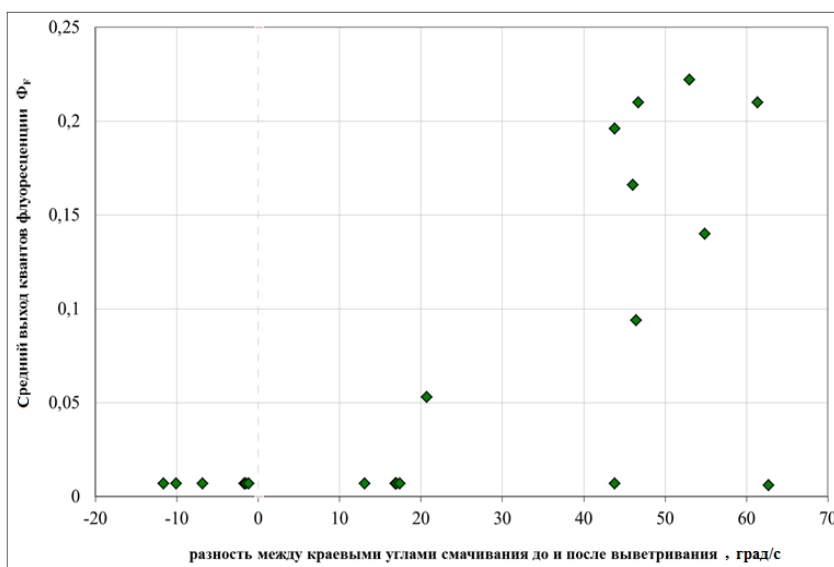


Рис.8. Зависимость между разностью краевых углов смачивания до и после выветривания и средним квантовым выходом флуоресценции

Для предложенного критерия наблюдается четкая корреляция со средним выходом квантов флуоресценции (рис. 9). При этом взаимосвязь между коэффициентом дестабилизации краевого угла смачивания и устойчивостью к биозаражению может выражаться следующими граничными условиями:

- $K_{dst} > 0,1$ град/с – материал восприимчив к биозаражению,
- $K_{dst} \leq 0,1$ град/с – материал биоустойчив.

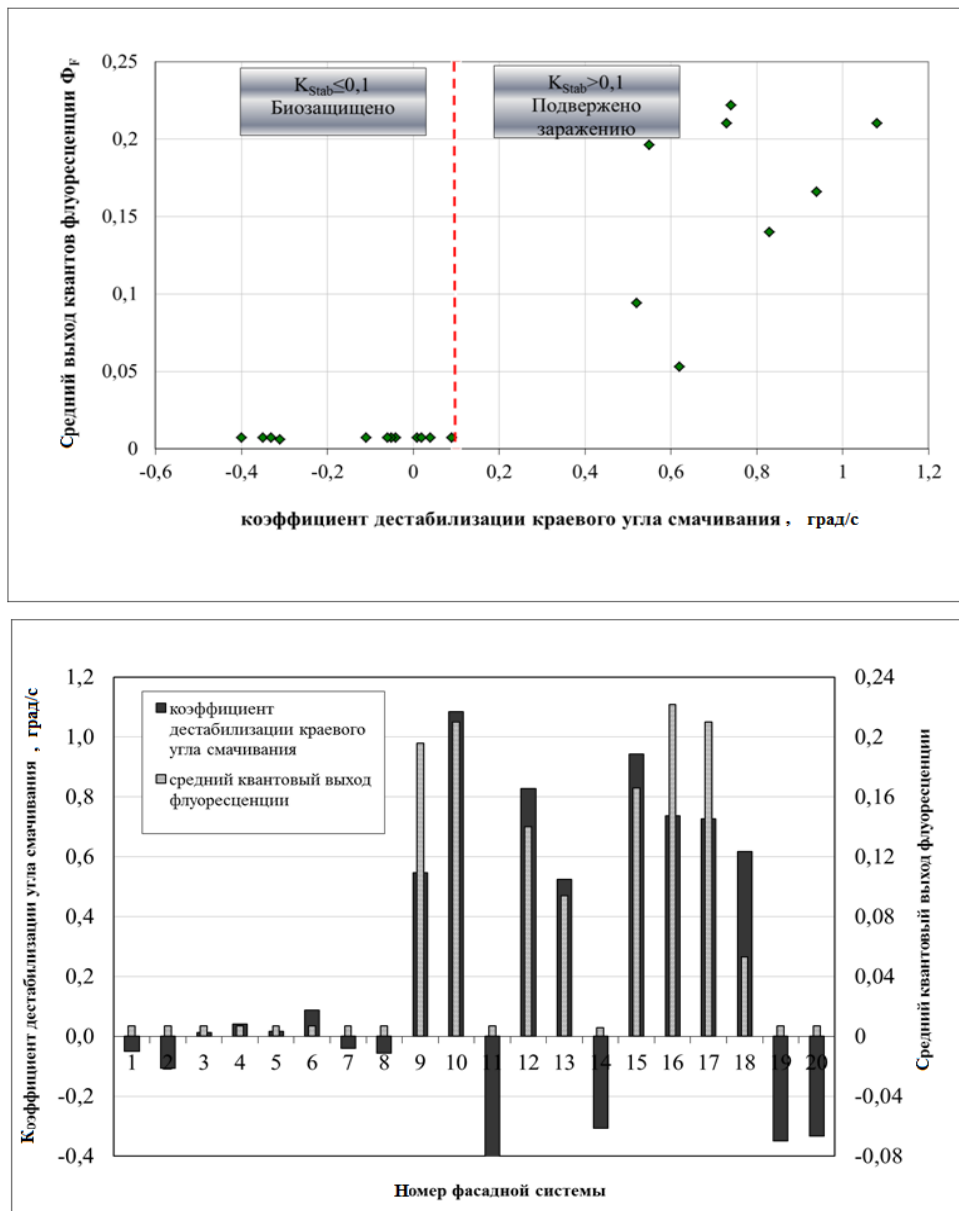


Рис. 9. Корреляция между средним выходом квантов флуоресценции Φ_F и коэффициентом дестабилизации угла смачивания K_{dst}

Выводы

Комплексный анализ результатов проведенных исследований позволяет заключить, что склонность фасадных материалов к биологическим загрязнениям находится в тесной взаимосвязи с их характеристиками смачиваемости водой.

Предложен количественный показатель, характеризующий устойчивость поверхностной структуры материалов к длительным атмосферным воздействиям – коэффициент дестабилизации угла смачивания K_{dst} , который определяется разностью значений средних скоростей смачивания образца, подвергнувшегося вы-

ветриванию и соответствующего ему эталона.

Установлена взаимосвязь между предложенным показателем и склонностью материалов к биологическому заражению. Показано, что при отрицательных или близких к нулю значениях данного параметра, биологические загрязнения на материалах отсутствуют. Материалы, для которых $K_{dst} > 0,1$ град/с, обнаруживают низкую устойчивость к биозаражению.

Рассмотренные характеристики смачивания могут служить адекватными и информативными критериями устойчивости фасадных материалов к поражению микроорганизмами и биокоррозии.

Литература

1. Огарков Б.Н. Биокоррозия строительных материалов: состояние и пути решения проблемы / Б.Н. Огарков, А.В. Петров, Г.Р. Огаркова, Л.В. Самусенок // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы Второй Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск, 2006. – С.23–28.
2. DataPhysics Instruments GmbH, OCA – техническое руководство (für OCA 5 OCA 10, OSA15, OCA 15 plus, OSA 20, OSA 30, OSAH 200).
3. Импульсные флуориметры [Электронный ресурс] / компании «ЛабИнструментс» Режим доступа: \www/URL: <http://www.labinstruments.ru/photosynthesis/pam-fluorometers/> 10.12.2004 г.
4. U. Schreiber, In vivo Chlorophyllfluoreszenz: Analyse und Zustandsdiagnose der Photosynthesefunktion / in W. Larcher, Ökophysiologie der Pflanzen, 6. Neubearbeitete Auflage// Ulmer-Verlag Stuttgart. – 2001. – С. – 77
5. L. Koss, N. Lesnych und H. Venzmer, Witterungsstabile Fassadensind resistenter gegen Algenbesiedlungen, Europäischer Sanierungskalender 2010, Beuth Verlag, Berlin-Wien-Zürich, 2010. – С. 275 – 287.