

Л.С. КОЦ, канд. техн. наук, науч. сотр., Высшая школа технологий, бизнеса и дизайна, Висмар, Германия,

Н.Ф. ЛЕСНЫХ, канд. техн. наук, науч. сотр., Высшая школа технологий, бизнеса и дизайна, Висмар, Германия,

Г. КЛИНКЕНБЕРГ, канд. техн. наук, науч. сотр., Высшая школа технологий, бизнеса и дизайна, Висмар, Германия,

Е.Ю. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Украина

НОВЫЕ МЕТОДЫ ТЕСТИРОВАНИЯ БИОУСТОЙЧИВОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Предложена новая технология ускоренного тестирования фасадных и кровельных строительных материалов для диагностики и прогнозирования их биологической устойчивости. Новизна разработок заключается в применении комбинированных биологических нагрузок, как аэробных, так и специально подготовленных биоактивных суспензий. Разработан универсальный алгоритм измерения биологической активности с использованием РАМ–диагностики, эффективный для идентификации автофлуоресцирующих биообъектов. Применение разработанной технологии существенно расширяет спектр тестируемых материалов.

Ключевые слова: фасадные и кровельные стройматериалы, экспресс-тестирование биостойкости, климатическая деструкция, моделируемые биологические нагрузки, РАМ – пульс-амплитудная модуляция, средний квантовый выход флуоресценции хлорофилла, ETR – скорость транспорта электронов.

Введение. Наружные элементы строительных сооружений (фасады, балконы, навесы, плоские крыши и др. элементы) чаще всего подвергаются биопоражениям (рис. 1). Причиной тому является, в первую очередь, изоляция наружной части фасада зданий и конструкций от внутренней, т.е. от источников тепла, что затрудняет процессы испарения влаги. Кроме того, длительное пребывание на фасадах дождевой или конденсированной воды может также быть обусловлено конструктивными особенностями строительных объектов. Это приводит к образованию биопленок в местах скопления влаги и, в конечном счете, к биокоррозии строительных материалов [1 – 4].

Современные способы защиты строительных материалов от микроорганизмов (бактерий, водорослей, грибов, лишайников) связаны с применением

покрытий, содержащих специальные биоциды, которые предотвращают или замедляют рост и развитие микроорганизмов. Существенными недостатками таких покрытий являются высокая стоимость, краткосрочность эффективно-

© Л.С. Коц, Н.Ф. Лесных, Г. Клинкаенберг, Е.Ю. Федоренко, 2014
го воздействия, а также отрицательное влияние на окружающую среду вследствие вымывания биоцидов [1, 5].



Рис. 1 – Примеры биоповреждений фасадов жилых зданий: а – г. Буххольц (4 года эксплуатации); б – г. Киль (7 лет эксплуатации).

В связи с этим весьма актуальной является задача создания экологичных безбиоцидных материалов и композиций, обеспечивающих долговременную защиту наружных строительных элементов от биопоражений. При этом оценка и прогнозирование биологической стойкости новых материалов представляет собой один из важнейших аспектов.

Основная часть. В настоящее время для диагностики биостойкости строительных материалов используют долгосрочное тестирование на так специальных стендах (рис. 2).



Рис. 2. – Проверка биоустойчивости образцов материалов на полевом стенде

При этом тестируемые образцы материалов подвергаются естественным климатическим и биологическим нагрузкам, а время экспозиции составляет от нескольких месяцев до нескольких лет. Зачастую, из-за высокой продолжительности испытаний, исследуемые продукты утрачивают актуальность для применения. В получении результатов ускоренного тестирования биостойкости заинтересованы, в первую очередь, производители фасадных и кровельных материалов, а также владельцы и пользователи строительных объектов, поскольку биозагрязнения фасадов зданий приводят к существенным экономическим потерям, связанным с санированием зданий.

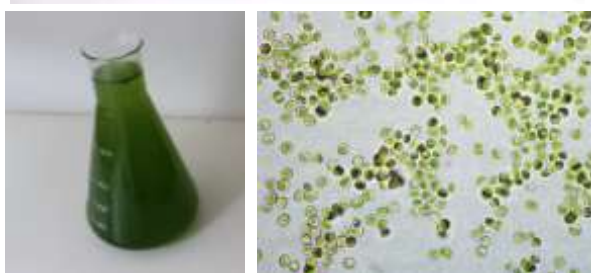
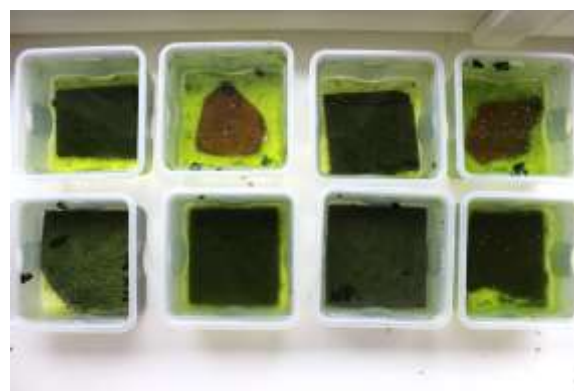
Целью настоящих исследований является разработка ускоренного метода испытаний, позволяющего в кратчайшее время проводить оценку биостойкости строительных материалов, а также осуществлять её прогнозирование при эксплуатации в конкретных климатических условиях. В результате проведенных исследований по определению основных факторов климатической и биологической деструкции материалов, моделированию процессов их разрушения в лабораторных условиях, установлению критериев, определяющих климатическую и биологическую стойкость материалов и разработке прогнозной методики оценки их биостойкости предложена технология форсированных климатических и биологических испытаний в лабораторных установках, позволяющая сократить время тестирования в 7 – 10 раз [6]. В качестве альтернативы естественному биологическому заражению в природных условиях предложены искусственное аэробное заражение (воздушным путем) или заражение в растворе биологически активной суспензии. При этом выбор условий заражения определяется в зависимости от вида тестируемых материалов и условий их службы. Образцы фасадных материалов, например, нагружались аэробно (над питательным раствором, содержащим штаммы водорослей), что исключает прямой контакт, имитируя естественные условия заражения фасадов (рис. 3а). Образцы покрытий для кровельных материалов помещались непосредственно в водную суспензию водорослей, что соответствует естественным биоагрузкам на плоских крышах (рис. 3б).

В качестве источника биозаражения в соответствии с требованиями европейского стандарта [7] использовалась в обоих случаях водорослевая культура *Chlorella vulgaris* из коллекции Гёттингенского университета (*Sammlung von Algenkulturen bei der Georg-August-Universität Göttingen*). Такой выбор обусловлен широкой распространенностью данной водорослевой культуры во

всех климатических регионах, неприхотливостью и способностью выживать в неблагоприятных условиях, а также четко выраженной зеленой окраской, легко поддающейся регистрации. По данным Фраунхофер-института [8] эта культура чаще всего обнаруживается на фасадах зданий при естественном биозаражении. Ярко зеленый цвет водорослей, обусловленный наличием в клетках хлорофилла, позволяет использовать для идентификации биопоражения метод РАМ-диагностики (*Pulse Amplitude Modulation*), в основе которого лежит феномен флуоресценции хлорофилла при попадании на него ультрафиолетового излучения. Применение данного метода с использованием прибора *IMAGING-PAM* (фирма *Walz*, Германия) позволила фиксировать присутствие на поверхности колоний водорослей, а также осуществлять наблюдение за динамикой их развития. Количественная оценка степени биопоражения материала производилась путем измерения среднего квантового выхода флуоресценции хлорофилла (Φ_F), величина которого пропорциональна количеству биомассы на пробе [6].



а



б

Рисунок 3 – Биозаражение проб в лабораторных условиях: а – аэробное (по воздуху) – образцы подвешены над суспензией водорослей; б – в водной суспензии водорослей *Chlorella vulgaris* [6].

Преимуществами предложенного метода является возможность быстрого получения результатов, использование проб небольших размеров (50 × 50 мм), а также высокая воспроизводимость. Недостатком метода явля-

ется невозможность его применения для автофлуорисцирующих (флуоресцирующих в нормальном состоянии под действием УФ) материалов. К автофлуоресцирующим материалам относятся, например, шиферная крошка для битумных покрытий крыш, некоторые полимеры в составах лакокрасочных покрытий и штукатурок и т. д. Базовые значения Φ_F для таких поверхностей в ненагруженном состоянии значительно превышают ту величину искомой разницы, которая может быть зарегистрирована во в результате биологических нагрузок, что существенно снижает достоверность идентификации биопоражений. Решение данной проблемы найдено в использовании дополнительной функций флуорометра, позволяющего измерять флуоресценцию на минимальном и максимальном уровнях световой радиации с целью более полной характеристики фотосинтетической системы.

В качестве такой характеристической величины исследуемых фотосинтетических систем выбран наиболее информативный и интегрирующий показатель скорости транспорта электронов (*ETR*). Измерения кривых *ETR* проводились на поверхности проб после экспозиции в суспензии культуры *Chlorella vulgaris* в течение 7, 10 и 18 суток, высушенной впоследствии в течение суток и вновь помещенной в биологически активный раствор на 7 суток. Перед каждым замером пробы подвергались предварительной адаптации в темноте при комнатной температуре в течение 15 мин.

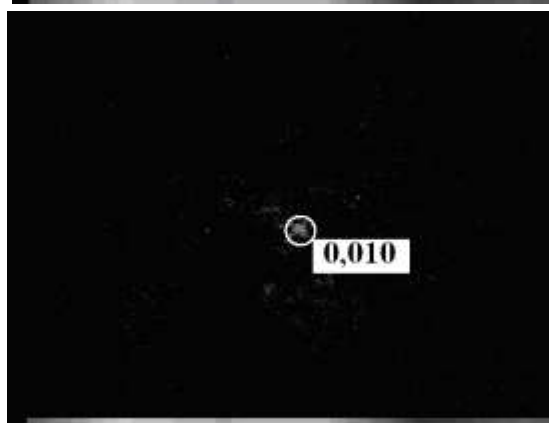
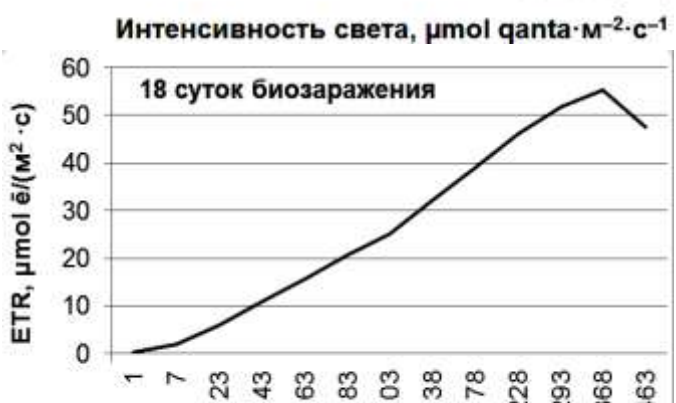
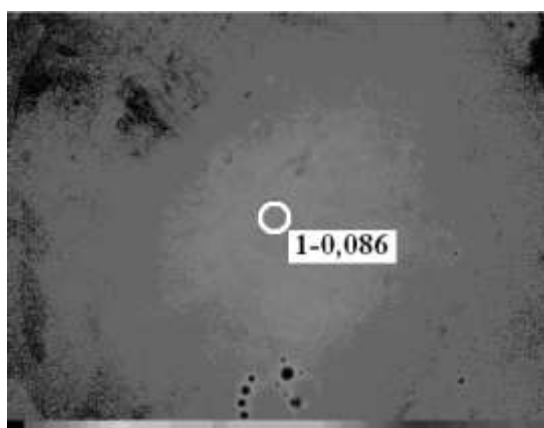
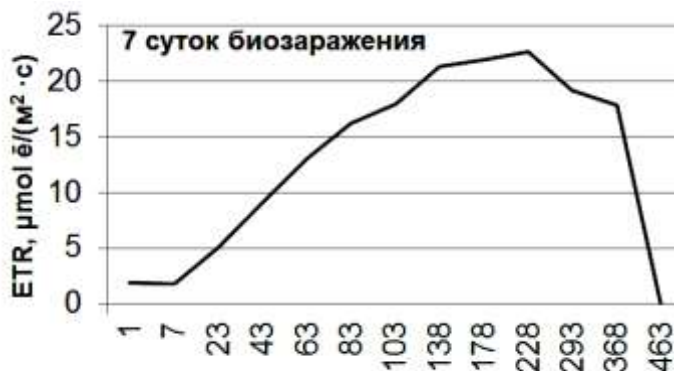
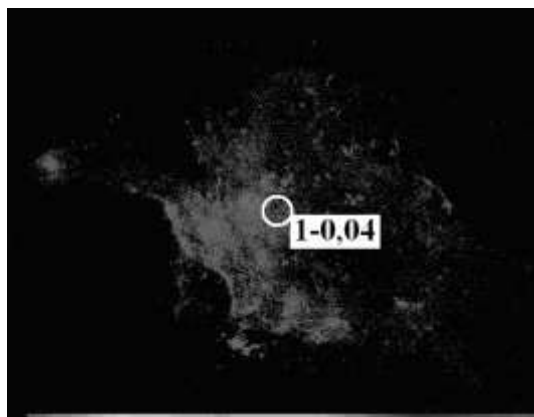
Пример результатов РАМ-диагностики и *ETR*-замеров представлены на рис. 4 и 5.

Для количественного определения хлорофилла, прямо пропорционального количеству находящейся на поверхности пробы биомассы, необходимым и достаточным является определение среднего квантового выхода флуоресценции хлорофилла (Φ_F) по результатам съёмок, представленных в левой части рис. 4. Для характеристики стабильности биологической активности присутствующего хлорофилла при переменных бионагрузках производили съёмки *ETR*-параметров.

Для характеристики степени восстанавливаемости введена новая величина *AR*, определяемая по формуле (1), которая представляет собой процентное соотношение максимальных значений *ETR* во время бионагрузок до и после сушки:

$$AR(\%) = \frac{ETR_7}{ETR_{28\max}} \cdot 100\% \quad (1)$$

где AR – степень восстанавливаемости биоактивности в %, $ETR_{28\text{ max}}$ – максимальная скорость транспорта электронов в течение первых 28 суток заражения, ETR_7 – скорость транспорта электронов через 7 дней после сушки.



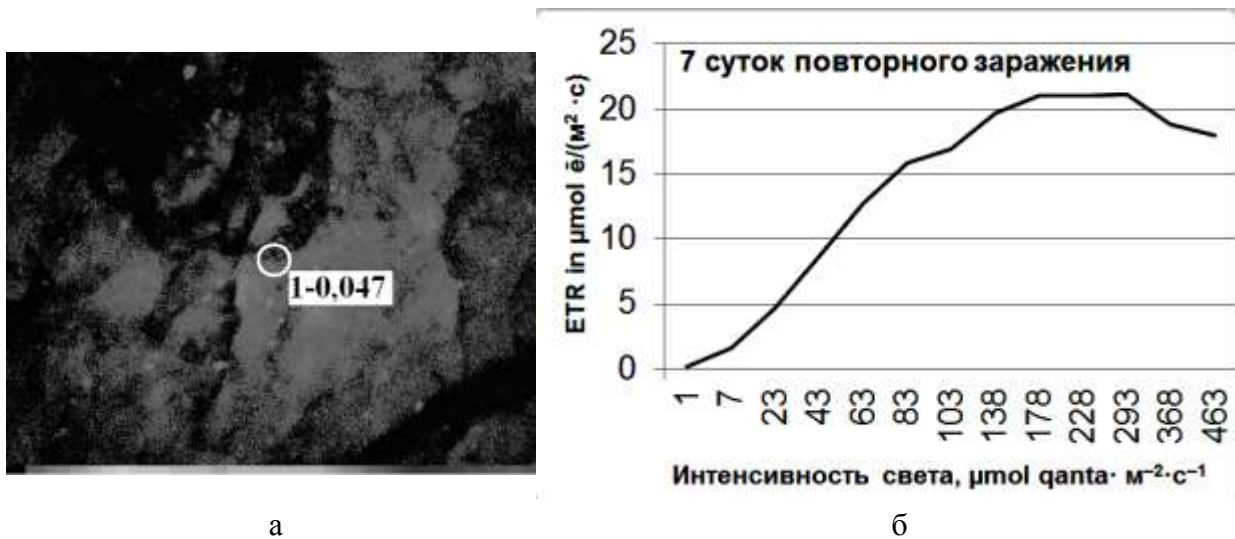


Рис. 4 – Результаты: а – PAM-диагностики, б – ETR-измерений пробе М.

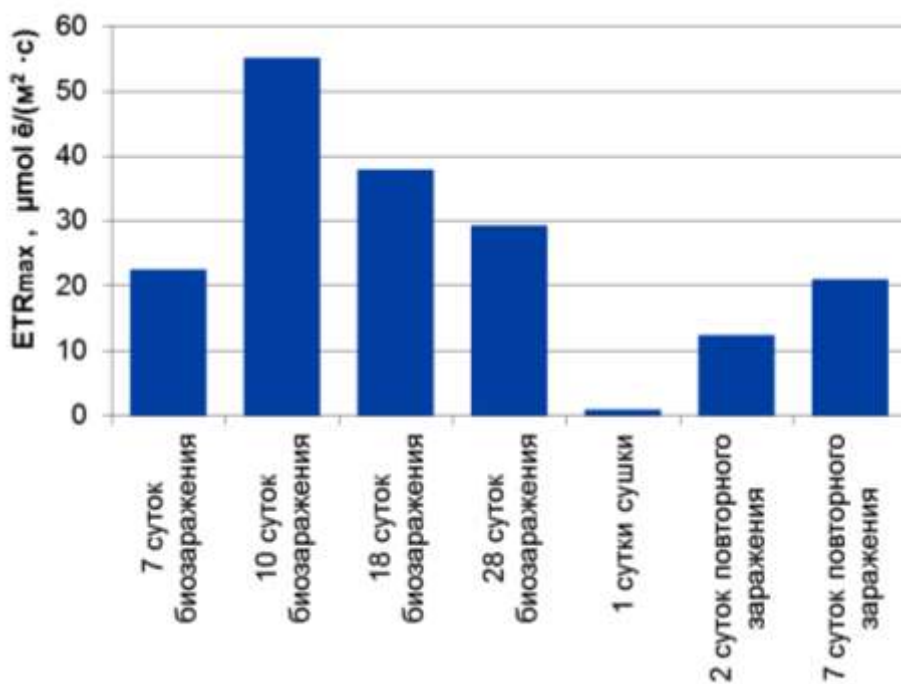


Рис. 5 – Максимальные значения ETR на различных стадиях биоагрузки образца М

Выводы: Предложенная технология прогнозирования биостойкости строительных материалов отличается от известных [6, 9] использованием комбинированных способов искусственного биологического заражения испытуемых материалов и введением нового характеристического критерия AR (коэффициента восстанавливаемости биологической активности), который наряду с ранее предложенными параметрами (ΔR_{max} и $K_{St.}$), отражающими стабильность структуры поверхностного слоя [6, 9], предназначен для оценки устойчивости к биопоражению. Оба нововведения позволяют существенно расширить спектр тестируемых материалов и исключать эффект автофлуо-

ресценции.

Список литературы: Региональные временные строительные нормы защиты строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных химических и биологических воздействий окружающей среды: РВСН 20-01-2006, ТСН 20-303-2006. – С.-Пб.: Правительство Санкт-Петербурга, 2006. – 56 с. **2.** *Hladik M.* Mikroorganismen an Fassaden. Was trocken bleibt, bleibt algenfrei / *M. Hladik* // Schriftenreihe Altbauinstandsetzung. – 2003. – № 5/6. – S. 95 – 106. **3.** *Kalwoda F.* Algen im Fassadenbereich: Indikator guter Luftqualität und/oder Baumangel / *F. Kalwoda* // Schriftenreihe Altbauinstandsetzung. – 2003. – № 5/6. – S. 31 – 49. **4.** *Künzel H.M.* Algen auf Außenwänden– Bauphysik als Ursache? Bauphysik als Lösung! / *H.M. Künzel, M. Krus, K. Sedlbauer* // Schriftenreihe Altbauinstandsetzung. – 2001. – № 3. – S. 75 – 79. **5.** Wirkstoffauswaschung aus hydrophoben Fassadenbeschichtungen: verkapselte versus unverkapselte Biozidsysteme / [*K. Breuer, F. Mayer, C. Scherer* und andere] // Bauphysik. – 2012. – № 1. – S. 34. **6.** *Коц Л. С.* Разработка методологии экспресс-тестирования и прогнозирования биологической стойкости фасадных материалов / *Л.С. Коц, Н.Ф. Лесных, Е.Ю. Федоренко* // Заводская лаборатория. – 2014. – № 2 – С. 11 – 20. **7.** Beschichtungsstoffe – Laborverfahren für die Prüfung der Wirksamkeit von Filmkonservierungsmitteln in einer Beschichtung gegen Algen : EN 15458 : 2007 deutsche Fassung. – [Введ. 2007-07-25]. – Brüssel: Europäisches Komitee für Normung, 2007. – 11 s. **8.** *Hofbauer W. R.* Algen, Flechten, Moose und Farne auf Fassaden / *W. R. Hofbauer, K. Breuer, K. Sedlbaer* // Bauphysik. – 2003. – № 25. – Heft 6. – S. 383 – 396. **9.** *Коц Л. С.* Биостойкие безбицидные фасадные керамические материалы: дис. ... кандидата техн. наук: 05.17.11 / *Коц Лев Савельевич.* – Х., 2014. – 216 с.

Referens: **1.** Regional'nye vremennye stroitel'nye normy zashhity stroitel'nyh konstrukcij, zdanij i sooruzhenij ot agressivnyh himicheskikh i biologicheskikh vozdejstvij okruzhajushhej sredy: RVSН 20-01-2006, TSN 20-303-2006. – St.-Peterburg: Pravitel'stvo St.-Peterburga, 2006. – 56 s. **2.** *Hladik M.* Mikroorganismen an Fassaden. Was trocken bleibt, bleibt algenfrei / *M. Hladik* // Schriftenreihe Altbauinstandsetzung. – 2003. – № 5/6. – S. 95 – 106. **3.** *Kalwoda F.* Algen im Fassadenbereich: Indikator guter Luftqualität und/oder Baumangel / *F. Kalwoda* // Schriftenreihe Altbauinstandsetzung. – 2003. – № 5/6. – S. 31 – 49. **4.** *Künzel H.M.* Algen auf Außenwänden– Bauphysik als Ursache? Bauphysik als Lösung! / *H.M. Künzel, M. Krus, K. Sedlbauer* // Schriftenreihe Altbauinstandsetzung. – 2001. – № 3. – S. 75 – 79. **5.** Wirkstoffauswaschung aus hydrophoben Fassadenbeschichtungen: verkapselte versus unverkapselte Biozidsysteme / [*K. Breuer, F. Mayer, C. Scherer* und andere] // Bauphysik. – 2012. – № 1. – S. 34. **6.** *Koc L.S.* Razrabotka metodologii jekspress-testirovanija i prognozirovanija biologichekoj stojkosti fasadnyh materialov / *L.S. Koc, N.F. Lesnyh, E.Ju. Fedorenko* // Zavodskaja laboratorija. – 2014. – № 2 – S. 11 – 20. **7.** Beschichtungsstoffe – Laborverfahren für die Prüfung der Wirksamkeit von Filmkonservierungsmitteln in einer Beschichtung gegen Algen : EN 15458 : 2007 deutsche Fassung. – [Vved. 2007-07-25]. – Brüssel: Europäisches Komitee für Normung, 2007. – 11 s. **8.** *Hofbauer W. R.* Algen, Flechten, Moose und Farne auf Fassaden / *W.R. Hofbauer, K. Breuer, K. Sedlbaer* // Bauphysik. – 2003. – № 25. – Heft 6. – S. 383–396. **9.** *Koc L. S.* Biostojkie bezbiocidnye fasadnye keramicheskie materialy: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.17.11 / *Koc Lev Savel'evich.* – Kharkov, 2014. – 216 s.

Поступила в редколлегию (Received by the editorial board) 30.06.14

УДК 666.635 : 620.162 : 620.193.21

Новые методы тестирования биоустойчивости строительных элементов / Л.С. КОЦ, Н.Ф. ЛЕСНЫХ, Г. КЛИНКЕНБЕРГ, Е.Ю. ФЕДОРЕНКО // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 52 (1094). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 45 – 53. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0821.

Запропоновано нову технологію прискореного тестування фасадних і покрівельних будівельних матеріалів для діагностики та прогнозування їх біологічної стійкості. Новизна розробок полягає в застосуванні комбінованих біологічних навантажень, як аеробних, так і спеціально підготовлених біоактивних суспензій. Розроблено універсальний алгоритм вимірювання біологічної активності з використанням РАМ-діагностики, ефективний для ідентифікації біооб'єктів, що здатні до автофлуоресценції. Застосування розробленої технології суттєво розширює спектр дослідних матеріалів.

Ключові слова: фасадні та покрівельні будматеріали, експрес-тестування біостійкості, кліматична деструкція, біологічні навантаження, що моделюються, РАМ – пульс-амплітудна модуляція, середній квантовий вихід флуоресценції хлорофілу, ЕТР – швидкість транспорту електронів.
UDC 666.635 : 620.162 : 620.193.21

New test methods of building elements biostable / L.S. KOTS, N.F. LESNYCH, G. KLINKENBERG, E.YU. FEDORENKO// Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 52 (1094). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 45 – 53. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-0821.

The new technology of facade and roofing building materials accelerated testing to diagnose and predict of their biological stability are proposed. The novelty lies in the development of combined application of biological loads, both aerobic and specially trained bioactive suspensions. An universal algorithm for measuring the biological activity using PAM-diagnosis, effective for identifying of the biological objects, able to autofluorescence was developed. The application of developed technology significantly expands the range of tested materials.

Keywords: facade and roofing construction materials, rapid testing of biological stability, climate destruction, modeling biological loads, PAM – pulse amplitude modulation, the average quantum yield of chlorophyll fluorescence, ETR – the rate of electron transport.

УДК 666.72

О.О. МИРШАВКА, асп., ДВНЗ «УДХТУ», Дніпропетровськ,

О.С. ХОМЕНКО, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «УДХТУ»,

Дніпропетровськ,

В.В. КОЛЄДА, канд. техн. наук, пров. наук. співроб., ДВНЗ «УДХТУ»,

Дніпропетровськ,

В.С. ТАРАН, студ., ДВНЗ «УДХТУ», Дніпропетровськ

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ГЛИНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ РІЗНИХ РОДОВИЩ УКРАЇНИ НА ВЛАСТИВОСТІ КЛІНКЕРНОЇ КЕРАМІКИ