

УДК 579.66:[620.193.8+504.054]

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ БИОСТОЙКОСТИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ (КРИТЕРИИ, ПОДХОДЫ)**© 2013 г. *Д.В. Кряжев, В.Ф. Смирнов, О.Н. Смирнова, Е.А. Захарова, Н.А. Аникина*

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

fungo.cem@gmail.com

Поступила в редакцию 24.01.2013

Обобщены литературные данные по проблеме объективизации, стандартизации и повышения достоверности методов оценки биостойкости промышленных материалов. Обсуждены достоинства и недостатки существующих стандартных методов испытаний, проанализированы критерии и подходы к оценке биостойкости. Рассмотрены возможности изменений и дополнений существующих стандартных методов с целью повышения их надежности.

Ключевые слова: биостойкость, грибостойкость, материалы, изделия, методы оценки, государственные стандарты.

Проблема биоповреждений является комплексной в научном значении и многоотраслевой – в практическом. Она включает в себя изучение механизмов биоповреждений, выбор мер защиты материалов от биодеструкции, разработку и применение методов исследования биологических повреждений. Многообразие методов связано, с одной стороны, с широким кругом организмов, являющихся агентами биоповреждений, а с другой – с большим спектром испытуемых материалов. Вопросам совершенствования и разработки методов испытаний материалов и изделий на устойчивость к воздействию микроскопических грибов всегда уделялось значительное внимание. В настоящее время существуют две наиболее значимые проблемы в рассматриваемой нами тематике: первая связана с процедурой проведения испытаний различных промышленных материалов, вторая – с выбором критериев оценки биостойкости.

В связи с вышеизложенным, целью данной публикации является:

- обсуждение достоинств и недостатков существующих стандартных методов испытаний на биостойкость;
- анализ критериев и подходов к оценке биологической стойкости материалов, изделий и конструкций;
- оценка имеющихся возможностей для внесения изменений и дополнений в существующие стандартные методы испытаний с целью повышения их надежности.

На сегодня существует более 200 различных методов испытаний разнообразных промышленных и строительных материалов на

биостойкость. Это связано с тем, что наряду с международными стандартами существуют национальные стандарты отдельных стран, а также отраслевые стандарты. В качестве примера можно указать ряд стандартов ведущих зарубежных стран в области защиты материалов и изделий от биоповреждений: США – Fed. test method STD 141C/6271.2-86; Великобритания – BS 1133; Германия – DIN 53739-84; Франция – NF X 41-514-81(61); Япония – JIS Z 2911-87(76). Наибольшая часть этих стандартов посвящена испытанию устойчивости промышленных материалов к действию микроорганизмов (плесневых грибов и бактерий). В вышеупомянутых стандартах поражение того или иного материала грибами определяется методом визуальной оценки, заключающейся в выявлении степени обрастания материалов; кроме того, рядом стандартов предусмотрена проверка некоторых физико-технических параметров исследуемых изделий (убыль веса, прочность на разрыв и сжатие, удельное объемное и поверхностное сопротивление, tg угла диэлектрических потерь, диэлектрическая проницаемость и т.д.), которые могут изменяться при биологических повреждениях. Однако эти методы имеют ряд весьма существенных недостатков. При испытании материалов с одинаковым целевым назначением используются различные тест-организмы. В ряде указанных стандартов учитывается присутствие внешних загрязнений на испытуемых материалах, в ряде других – не учитывается. Это приводит к неадекватности оценки при учете результатов испытаний одних и тех же материалов. В упомянутых выше стандартах существуют заметные различия в ре-

жиге, сроках и условиях испытаний. В большинстве указанных стандартов отсутствует проверка возможных изменений физико-химических параметров [1, 2].

В нашей стране в настоящее время для испытаний на грибостойкость широко используются стандарты Единой системы защиты от коррозии и старения, которые также имеют ряд недостатков. Прежде всего, не решен вопрос о пригодности материалов и изделий к эксплуатации в зависимости от степени роста на них плесневых грибов. Материал или изделия считаются выдержавшими испытания на грибостойкость при оценке степени роста, равной 2 баллам (с предварительной очисткой материала от внешних загрязнений) и 3 баллам (без предварительной очистки). Однако многочисленными исследованиями показано, что изделие, получившее оценку 3 балла, нормально функционирует, соответствуя своему назначению, а материалы, грибостойкость которых оценивается в 2 балла, что допустимо по существующим стандартам, оказываются совершенно непригодными, т.к. происходят серьезные изменения их физико-химических параметров [3, 4].

Также существующие ГОСТы не позволяют выявить биоповреждения ряда изделий, которые могут возникать в результате присутствия спор грибов внутри самого изделия. Но наиболее значимый и существенный недостаток всех ГОСТов по испытанию материалов на грибостойкость заключается в их длительности. Поэтому важнейшей задачей в этой области является проблема разработки экспресс-методов, для которых характерны быстрота, высокая чувствительность и точность [5].

Методы по способу, заложенному в основе определения степени поражения и контаминации различных материалов, можно условно разделить на физические, математические, химические, биохимические, микробиологические.

Большую группу физических методов составляют спектрофотометрические экспресс-методы.

В Ульяновском политехническом институте разработан спектрофотометрический метод определения микробного поражения смазочно-охлаждающих жидкостей, который включает измерение оптических плотностей пробы жидкости при двух длинах волн, одна из которых находится в области максимального поглощения присутствующими в жидкости микроорганизмами. По разности оптических плотностей судят о степени поражения [6].

Для экспрессной индикации микробиологического повреждения и биодеградации кон-

струкционных материалов космических объектов использовался ультразвук и набор фотохимических реакций, дающий наиболее полную информацию о характере биоразрушения [7].

Проводились электрохимические исследования по влиянию бактериофлоры на коррозионные процессы стали. Для определения степени связи между потерей массы и общей численностью сапрофитов, а также количеством анаэробов, численностью сероводородообразующих бактерий и количеством кислотообразователей определяли коэффициенты корреляции. Полученные данные дали возможность установить взаимосвязи между удельной поляризуемостью и плотностью тока, а также степень влияния бактериофлоры на коррозионный процесс [8].

Думейном П. и Гатлеем С. разработан метод быстрого обнаружения дрожжей и плесеней (система ChemFlow), основанный на принципе проточной цитометрии индивидуальных клеток дрожжей и плесеней, предварительно меченых прижизненно флуоресцирующим красителем (ChemCromes). Анализ занимает 24 ч против 3 суток обычного чашечного метода. На обработку одной пробы уходит 30 мин и 30 сек – на подсчет результатов [9].

В Нижегородском госуниверситете разработана экспресс-методика изучения жизнеспособности спор микромицетов по содержанию в них АТФ, заключающаяся в ее экстракции и определении количества с помощью люциферин-люциферазного метода. По динамике изменения содержания АТФ при прорастании спор в первые 1–7 часов с момента заражения материала определяется устойчивость объекта к поражению микромицетами. Сущность методики заключается в том, что если прорастание спор происходит в благоприятных условиях, то через 6 часов наблюдается увеличение концентрации АТФ, чего не происходит со спорами, выделенными с грибостойкого материала. Для проведения хемилюминесцентного анализа используют промышленные отечественные хемилуминометры [10].

Среди экспресс-методов исследования биоповреждений также довольно широко представлены хроматографические: газовые, газожидкостные, тонкослойные, ионообменные.

Особое внимание уделено методам, основанным на идентификации химических продуктов деструкции полимеров, образующихся вследствие процессов биокоррозии. Эти методики разработаны и используются рядом авторов [5, 11].

Ермилова И.А. с сотрудниками при определении особенностей воздействия химических волокон на бактерии использовали газохроматографический метод определения угле-

кислого газа для выявления активности декарбоксилаз микроорганизмов. При этом существенно повышаются чувствительность и точность определения [12].

Для диагностики биоповреждений целлюлозных материалов применяли газохроматографический экспресс-метод, состоящий в определении дыхательной активности грибов по выделению диоксида углерода (CO₂). Начало развития грибов удавалось определить через 10–20 часов [13].

Фельдманом М.С. с соавторами [14] разработан хроматографический экспресс-метод определения устойчивости полимеров на основе искусственных каучуков к разрушающему воздействию микроскопических грибов. Он заключается в сравнительном анализе хроматограмм экстрактов материала до и после воздействия на него микодеструкторов, а также в сравнении хроматограмм газовой фазы продуктов жизнедеятельности грибов, культивируемых на питательной среде и в присутствии изучаемого объекта.

Веретенниковой Е.П. и Ермиловой И.А. разработан экспресс-метод оценки грибостойкости поликапроамидных (ПКА) нитей [15]. Сущность метода заключается в определении концевых амино- и карбоксильных групп. Концевые аминогруппы определяли по количеству связанной HCl обратным титрованием растворов гидроксида натрия. Определение концевых карбоксильных групп основано на обработке ПКА-нитей раствором NaOH с последующим титрованием избытка щелочи соляной кислотой. Степень деструкции ПКА-нитей определяли по изменению статической обменной емкости.

Для обнаружения микроорганизмов на поверхности материалов и конструкций применяются также биохимические методы. Биохимический подход позволяет использовать такие критерии при оценке биологического разрушения, которые основаны на изучении метаболизма грибов в процессе их действия на материалы. Определяются целлюлазная, фенолоксидазная и редуктазная активность, количество аминокислот, органических кислот и других вторичных метаболитов.

Для испытания биостойкости текстильных материалов применяется экспресс-метод по ГОСТу 9.060-75. На образец ткани наносится активированная почва, и он инкубируется во влажной камере при температуре 28°C в течение 10–14 суток. О степени защиты судят по изменению прочности на разрыв по сравнению с образцами, не подвергшимися воздействию почвенной микрофлоры. Метод дает

воспроизводимые результаты, не сложен в применении, требует меньше затрат, чем почвенные испытания в натуральных условиях [16].

Английскими учеными был разработан быстрый почвенный метод для определения чувствительности полиуретанов к биоповреждениям. После помещения образцов на 14 суток в почву измерялась их прочность на растяжение. Метод основан на том, что престрессинг вызывает значительное уменьшение прочности на растяжение [17].

Предложен экспресс-метод для испытания полиуретанов, включающий испытания тонкопленочных образцов, помещенных на питательную среду, инокулированную спорами *Gliocladium roseum*. Продолжительность испытаний составляет 7 суток. Данный метод позволяет выделить из окружающей среды микроорганизмы, способные повреждать полиуретаны, и определить их активность [18].

Английскими учеными разработан микрометод количественного определения хитинолитической активности. Микроорганизмы культивируют в пробирках с питательной средой, содержащей комплекс хитина с красителем азуром. Рост микроорганизмов сопровождается выделением в среду хитиназ, красителя и гидролизом хитина. Интенсивность окрашивания среды измеряется спектрофотометрически [19].

Курочкиным В.Е. с соавторами [20] количественная оценка развития микромицетов в процессе роста производилась с использованием метода вертикального фотометрирования и математического моделирования. Применялось стандартное оборудование (фотометр ЛИНКЕЙ, ПЭВМ).

К основным методам структурного анализа строительных и промышленных материалов относятся инфракрасная и электронная микроскопия, рентгенография, двойное лучепреломление. Микроскопические методы основаны на измерении спектров поглощения материалом излучения в видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной областях. Используя экспериментальные результаты, с помощью справочных таблиц ИК-спектров можно сделать вывод о структурных превращениях, происходящих в результате воздействия агрессивных сред, т.е. микроорганизмов и их метаболитов [21].

Для исследования грибостойкости различных материалов и изделий применяются электромагнитные методы.

Кибиревой З.Н. разрабатывался метод оценки грибостойкости с использованием метода Кирлиана – свечения биологических объектов в высокочастотном магнитном поле. В

случае биостойкости самого материала или после придания ему этого свойства путем введения фунгицидной добавки, свечение объекта будет значительно слабее по сравнению с небистойким образцом [5].

Михайлова Э.В. предлагает использовать электромагнитный метод оценки биостойкости, в котором измерения проводятся с помощью специального прибора – гифомагнитометра [22]. Грибостойкость определяется по величине усилия, затраченного на отрыв образца от гифы гриба; разность напряжения в вольтах характеризует интенсивность внедрения мицелия гриба в образец. Метод позволяет сократить время экспозиции, повышает точность данных, упрощает процесс работы.

Мазуром Ф.Ф. с сотрудниками для определения биостойкости древесины был предложен метод, основанный на применении радиоактивной метки [23]. Метод меченой метки состоит в изменении интенсивности излучения образцов древесины, пропитанных исследуемым веществом, после выдерживания их на культурах гриба, меченых радиоактивным изотопом. Метод меченых культур может быть применен для определения токсичности антисептиков, сравнительного определения естественной стойкости древесины и других строительных и технических материалов органического происхождения, а также для контроля качества антисептирования. Он дает возможность получения надежных количественных показателей в более короткие сроки, чем в случае использования весового метода.

Сергеевой Л.Е. разработан метод термогравиметрического анализа биоповреждений материалов с использованием дифференциальной кривой [24]. В процессе анализа контролируются температура образца, его масса, производная по времени изменения массы образца. Измерения проводятся на дериватографе ОД-102. Описанный метод характеризуется высокой точностью. Для бумаги показано, что с увеличением срока обрастания энергия активации, определяемая с помощью дифференциальной кривой, снижается.

Вильямсом Г.Р. предложена методика оценки микробиологического повреждения древесины древоразрушающими грибами путем применения эмиссии звука. Метод основан на том, что образцам древесины дается нагрузка на изгиб с параллельным применением датчика звуковой эмиссии. Степень разрушения древесины оценивается по началу звуковой эмиссии во время излома [25].

Японскими учеными при рассмотрении основных принципов методов прерывного тока и

переменного тока импеданса оценивалась возможность их применения при исследовании процесса микробиологической коррозии под лакокрасочными покрытиями [26].

В работах Тирпак Дж. и Бочкаревой Г.Г. с сотрудниками указывается, что если в состав полимера входят сложные эфиры, то при изучении грибостойкости материалов существенный интерес представляет определение активности эстераз плесневых грибов, которая, как правило, коррелирует со степенью разрушения полимерных материалов. Исследованиями ряда ученых показано, что при изучении биодеструкции фенолоформальдегидных, эпоксидных и некоторых других полимеров целесообразно определять активность оксидаз [5].

Морозовым Е.А. и др. для изучения биостойкости композиционных строительных материалов были использованы разные сочетания неорганических и органических кислот низкой концентрации, воздействия которых на различные материалы позволило бы точно моделировать процессы биологической коррозии, происходящей под воздействием продуктов метаболизма микроорганизмов на материал. В качестве предполагаемых инициаторов биологической коррозии были использованы уксусная кислота (0.01–1.0%), щавелевая кислота (0.01–1.0%), лимонная кислота (0.01–1.0%) [27].

Для целлюлозных материалов при прямом воздействии организмов особенно существенна их целлюлазная активность. В разработанной Нюкшей Ю.П. с сотрудниками экспресс-методике испытаний на биостойкость ферментными препаратами использован тест на стойкость к целлюлазам, от которых зависит целостность материалов. Сущность анализа сводится к обработке целлюлозных материалов препаратами иммобилизованных целлюлаз. Для бумаги время эксперимента – 4 часа, максимальный срок – 55 часов. Достоверность результатов, добытых при использовании ферментных препаратов, выше, чем при испытании живыми культурами грибов. Значительно уменьшается трудоемкость работы, появляется возможность обработки большего объема образцов [28].

Мироновой С.Н. с сотрудниками предложен метод определения биологической природы обрастаний различных поверхностей – метод определения белковых веществ с красителем Кумасси G-250 [29]. Метод основан на том, что краситель Кумасси G-250, имеющий в водно-спиртовом кислом растворе бурую окраску, при взаимодействии с веществами белковой природы в кислых растворах образует

комплекс краситель–белок, окрашивающий раствор в синий цвет. Интенсивность окраски зависит от количества белка в пробе, т.е. от степени обрастания материалов. Отбор проб с пораженных образцов в полевых условиях производится либо с помощью ножа, скальпеля, крючка, петли, либо при невозможности отбора вышеупомянутыми инструментами используется липкая лента.

Важной причиной несовпадения оценки результатов испытаний на грибостойкость одних и тех же материалов, проводимых в лабораторных и природных условиях, является неучет процесса их старения. Однако этому моменту при разработке методов испытаний на грибостойкость уделяется мало внимания. Так, в ГОСТе 9.049–91 эта проблема представлена в качестве необязательной программы испытаний, а в ГОСТе 9.050–75 вообще отсутствует, несмотря на то, что известно, что под действием факторов климатического старения в полимерах начинаются изменения химического состава и структуры. Претерпевая химические изменения, они через некоторое время могут стать соединениями, отличающимися по химическому составу и структуре от исходных [30]; таким образом, в определенный момент эти материалы (исходно грибостойкие) начинают подвергаться деструкции определенными видами грибов, располагающими соответствующим комплексом метаболитов.

Во Всесоюзном научно-исследовательском центре по материалам и веществам разработана методика определения микробиологической стойкости неметаллических материалов, основанная на сравнительной оценке комплекса свойств материалов в исходном состоянии и после воздействия на них факторов старения, до и после взаимодействия с микроорганизмами. Методика предназначена для испытания неметаллических материалов на надежность и безопасность их применения по параметру микробиологической стойкости [31].

Немецкими учеными с помощью биотеста, включающего оценку взаимодействия между микроорганизмами и керамическими материалами в модельных условиях, удалось зафиксировать микробиологическую коррозию этих материалов, что невозможно было при использовании физических и химических методов [11].

В последнее время проблемы биоповреждений, защиты материалов и конструкций привлекли внимание математиков. Появился ряд работ, в которых рекомендуется использовать при изучении биокоррозии методы математического планирования экспериментов и моделирования. Математическое моделирова-

ние процессов биокоррозии композиционных материалов предполагает создание логического, аналитического, графического или какого-либо иного описания процесса, соответствующего реальному и позволяющего анализировать и оценивать динамику его развития в зависимости от конкретных условий [4, 5, 11, 14].

Также немаловажным аспектом проблемы объективной оценки биостойкости материалов является выбор тест-культур деструкторов. Правильный выбор тест-культур для исследований материалов является одним из основных условий получения достоверных результатов испытаний, а также их высокой воспроизводимости. Хотелось бы остановиться на раскрытии смысла такого термина как «деструкторы материалов». Анализ литературных данных показывает, что авторы по-разному трактуют этот термин. Некоторые специалисты относят сюда микроорганизмы, рост которых обнаруживается на материалах, не учитывая причины этого роста: за счет внешних загрязнений или вследствие использования материала в качестве источника питания [3]. На наш взгляд, более правильной является вторая позиция, когда микроорганизм считается деструктором материала, если он способен использовать в качестве источника питания какой-либо (или несколько) компонентов материала. Такой подход базируется на физиолого-биохимических особенностях деструкторов, т.е. их деструктивная деятельность по отношению к тому или иному материалу определяется возможностью образовывать необходимый комплекс метаболитов, позволяющих осуществлять утилизацию материала.

Известно, что в мировой практике в качестве тест-культур используют штаммы грибов, которые наиболее часто и значительно разрушают материалы в условиях их эксплуатации и хранения в различных климатических зонах. С учетом постоянных изменений ассортимента производимых промышленных материалов, а также в связи с наличием у грибов высоких адаптационных возможностей, набор тест-культур для лабораторных методов испытаний на грибостойкость должен постоянно претерпевать изменения [1].

Заключение

Таким образом, проведенный анализ отечественных и зарубежных литературных источников по методам оценки стойкости промышленных материалов к действию биологических повреждений показал:

1. Наиболее проблемными моментами при оценке биостойкости являются критерии оценки и сроки испытаний.

2. Лабораторные методы испытаний материалов на устойчивость к воздействию микроорганизмов должны опираться на унифицированные и однозначные критерии оценки биостойкости материалов.

3. Основными требованиями, предъявляемыми к методам испытаний по оценке устойчивости материалов к воздействию биодеструкторов, должны быть надежность метода, высокая воспроизводимость полученных результатов, краткий срок и дешевизна испытаний, максимальная приближенность условий лабораторных испытаний к условиям природной биodeградации материалов. В этих методах в первую очередь должны отражаться теоретические наработки современной технической микробиологии.

4. Для того чтобы располагать более достоверной и сопоставимой с другими результатами (в особенности полученными в других странах) оценкой биостойкости материалов, необходимо проводить их испытания по единым стандартам, которые могут быть применены, по крайней мере, к близким группам материалов и изделий.

5. Весьма перспективным является внедрение экспресс-методов анализа как в плане сокращения сроков испытаний на биостойкость, так и в плане упрощения процедуры их проведения.

Стандартные методы испытаний могут быть дополнены оценкой биостойкости изделий и элементов с учетом влияния на их работоспособность различных биозагрязнений (присутствия на конструкционных элементах изделий не только живых, но и мертвых фрагментов микроорганизмов (споры, части мицелия)), а также учетом факторов климатического старения материалов.

Список литературы

1. Родионова М.С., Березниковская Л.В., Веприцкая А.В. О методах испытания изделий на грибоустойкость // Микология и фитопатология. 1990. Т. 24. Вып. 1. С. 87–88.
2. Смирнов В.Ф. Некоторые проблемы, возникающие при разработке стандартных методов испытаний материалов на грибоустойкость // В сб.: Экологические проблемы биodeградации промышленных, строительных материалов и отходов производства. Пенза, 1998. С. 58–59.
3. Смирнов В.Ф., Семичева А.С., Смирнова О.Н., Перцева А.Д. К вопросу оценки грибоустойкости материалов в некоторых отечественных стандартных методах испытаний // Микология и фитопатология. 2000. Т. 34. № 6. С. 50–55.
4. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Семичева А.С., Морозов Е.А. Биологическое сопротивление материалов. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2001. 196 с.
5. Анисимов А.А., Смирнов В.Ф., Фельдман М.С. К вопросу о методике определения биостойкости полимерных материалов, используемых в радиотехнике, электронике и химической промышленности // В сб.: Методы определения биостойкости материалов. М., 1979. С. 82–100.
6. А.с. 1606915 СССР, МКИ G 01 N21/15. Спектрофотометрический способ определения микробиопоражения смазочно-охлаждающей жидкости / Полянсков Ю.В., Пугачев Е.Ф., Троицкая А.П., Ильин А.И. (СССР). - № 4674007; заявлено 27.02.1989; опублик. 15.11.1990. Бюл. № 42. С. 1.
7. Буянов В.В., Минаев В.А., Смирнов Д.В., Демина А.М., Громова И.А. Экспрессная индикация микробиологического повреждения и биodeградации конструктивных материалов космических объектов // Вестник РАМН. 2000. № 10. С. 24–27.
8. Swain A. Biosensor detection of micro-organisms // Abstr. 4th Symp. WAM-90: «Wessex Appr. Microbiol.», Southampton, 6–8 Apr. 1990. P. 25.
9. Dumain P., Gatley S. A novel system for yeast and mould detection designer for use in process control of fermented milk products // Int. Semin. «Mod. Microbiol. Methods Dairy Prod.», Brussels, 1989. P. 293–294.
10. Фельдман М.С., Швец И.М., Пожидаев В.М., Кириш С.И. Новые методы диагностики биоповреждений // Всерос. конф. «Биоповреждения в промышленности». Тез. докладов. Пенза, 1993. Часть 1. С. 16–17.
11. Sand W., Bock E. Mikrobielle Zerstörung keramischer Werkstoffe // Werkst. Und Korros. 1990. Bd. 41. № 2. S. 64–68.
12. Ермилова И.А., Вершинина Н.П., Зубко И.К. Газохроматографические методы определения особенностей воздействия химических волокон на микроорганизмы // В сб.: Биохимические основы защиты промышленных материалов от повреждений. Горький: Б.И., 1987. С. 34–38.
13. Сергеева Е.А. Методика исследования газобразных веществ, выделяемых на длительных стадиях биоповреждения // В сб.: Экологические проблемы биodeградации промышленных, строительных материалов и отходов производства. III Всерос. науч.-практ. конф. Пенза: Б.И., 2000. С. 96–97.
14. Feldman M.S., Kirsh S.I., Pozhidaev V.M. Extraction of organic compounds, formed in the course of polymer biodestruction // Abstr. International conference on solutions extraction of organic compounds ISECOS 92, Voronezh, Rissia, September 22–25, 1992. V. 11. P. 65–69.
15. Веретенникова Е.П., Ермилова И.А. Экспресс-метод оценки грибоустойкости полиакраамидных нитей // Микология и фитопатология. 1989. Т. 23. № 2. С. 178–181.
16. Кирикина Л.И., Подгаевская Т.А., Малахова Р.И., Сквиренко А.Б. Методы испытания биостойкости текстильных материалов // В сб.: Методы определения биостойкости материалов. М., 1979. С. 154–158.
17. Dale R., Squirrell D.I. A rapid method for assessing the resistance of polyurethanes to biodegradation // International Biodegradation. 1990. V. 26. № 6. P. 355–367.
18. Shutteworth W.A., Seal K. A rapid technique for evaluating the biodegradation potential of polyurethane elastomers // J. Appl. Microbiol. and Biotechnol. 1986. V. 26. № 3. P. 407–409.

19. Evrall Ch.G., Attwell R.W., Smith Ch.A. A semi-micro quantitative assay determination of chitinolytic activity in microorganisms // *F. Microbiol. Meth.* 1990. V. 12. № 3–4. P. 183–187.
20. Курочкин В.Е., Панина Л.К., Парамонов Г.А. Фотометрический анализ роста культур мицелиальных грибов // *Микология и фитопатология.* 1991. Т. 25. № 1. С. 57–61.
21. Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Морозов Е.А. Микробиологическое разрушение материалов. М.: Высшая школа, 2008. 124 с.
22. Михайлова Э.В. Оценка биоповреждений арболита электромагнитным методом // В сб.: *Материалы второго всес. симп. по биологическим повреждениям и обрастаниям материалов, изделий и сооружений.* М.: Наука, 1972. С. 79–81.
23. Мазур Ф.Ф. Исследование условий применения радиоактивных изотопов с целью сохранения длительности биологических испытаний // В сб.: *Биологические повреждения строительных и промышленных материалов.* М.: Б.И., 1973. С. 14–27.
24. Сергеева Е.А. Метод термогравиметрического анализа биоповреждений материалов с использованием дифференциальной кривой // Тез. докл. Всерос. конф. «Биоповреждения в промышленности», Пенза: Б.И., 1993. Ч. 1. С. 19–20.
25. Williams G.R. A technique for measuring the microbial. Deterioration of vulcanized rubber // *International Biodeterioration Bulletin.* 1994. № 4. P. 255–258.
26. Танабэ Хироюки. Электрохимические методы исследования под лакокрасочными покрытиями // *Mater. Technol.* 1991. V. 9. № 5. P. 158–162.
27. Морозов Е.А., Губанов Д.А., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф. Моделирование биологически агрессивных сред, выделяемых микроорганизмами // В сб.: *V Междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы биологического повреждения материалов»*, Пенза, 2002. С. 56–59.
28. Нюкша Ю.П., Коссиор Л.А. Целлюлазная проба на биостойкость // В сб.: *Методы определения биостойкости материалов.* М.: Наука, 1979. С. 144–145.
29. Миронова С.Н., Филимонова Т.В., Гумаргалиева К.З. Определение биологической природы загрязнений на поверхностях материалов в полевых условиях // В сб.: *Биохимические основы защиты промышленных материалов от биоповреждений.* Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1991. С. 72–77.
30. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. М.: Химия. 1982. 224 с.
31. Африкян Э.Г., Симонянц Р.А., Петросян Л.С. Методика ГСССД МЭ 91-91. Определение микробиологической стойкости неметаллических материалов. М., 1992. 61 с. Деп. в ВИНТИ 13.01.92. N 685-кк 92.

METHODS OF TESTING INDUSTRIAL MATERIALS FOR BIORESISTANCE (AN ANALYSIS OF CRITERIA AND APPROACHES)

D.V. Kryazhev, V.F. Smirnov, O.N. Smirnova, E.A. Zakharova, N.A. Anikina

An overview is given of published information and data on objectification, standardization and improving reliability of the methods of testing industrial materials for bioreistance. The advantages and disadvantages of the existing standard test methods are discussed and the criteria and approaches to assessing the bioreistance of materials are analyzed. Possible changes and additions to the existing standard methods to improve their reliability are considered.

Keywords: bioreistance, fungus resistance, materials, products, assessment methods, state standards.