

11. Шарп Д. Microsoft Visual C#. Питер, 2016.
12. <http://bourabai.ru/alg/c-sharp.htm>
13. Тен Т. Л. Системы поддержки принятия решений. Караганда : КЭУК, 2012.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРНОЙ СМОЛЫ В УСЛОВИЯХ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ АГРЕССИИ

Д. А. Губанов, Д. А. Меркулов, А. А. Пиксайкина

Национальный исследовательский

Мордовский государственный университет

Проведен эксперимент по выдерживанию образцов композитов на полиэфирной смоле в стандартной среде мицелиальных грибов, моделирующей воздействие окружающей среды на лакокрасочные покрытия. Предложена оригинальная методика обработки полученных результатов, корректирующая классическую интерпретацию коэффициента стойкости. Получены математические модели в виде аппроксимирующих линейных зависимостей изменения свойств материала на длительных сроках выдерживания с наделением коэффициентов физическим смыслом.

Ключевые слова: *лакокрасочные покрытия, полиэфирная смола, стандартная среда мицелиальных грибов, микробиологическая агрессия, методы математического планирования эксперимента, коэффициент стойкости, аппроксимация.*

MODELING OF LONGEVITY LACQUER-PAINTED COATINGS BASED ON POLYESTER RESIN IN CONDITIONS OF MICROBIOLOGICAL AGGRESSION

D. A. Gubanov, D. A. Merkulov, A. A. Piksaykina

National Mordovia State University

An experiment by keeping composites samples at polyester resin in a standard medium of filamentous fungi, which simulates the impact of the environment on coatings. An original method of processing results, correcting the classical interpretation of the resistance coefficient. The mathematical model in the form of approximate linear dependence of the changing of the material properties of the holding for the long term with vesting ratios physical sense.

Keywords: *lacquer-painted coatings, polyester resin, a conventional medium of filamentous fungi, microbiological aggression, methods of mathematical planning of experiment, resistance coefficient, approximation.*

В настоящее время трудно найти группу материалов, на которую микроорганизмы не оказывают разрушающего воздействия. Биодеструкции подвержены бетон, древесина, бумага, пластмассы, резина, электроизоляционные материалы, нефтепродукты, металлы и их сплавы, металлическое оборудование, авиационная и космическая тех-

ника и т. д. Биодеструкция наносит огромный экономический и экологический ущерб, который порой нельзя выразить в денежных единицах [1–3].

Поражению микроорганизмами подвержены конструкции общественных и промышленных зданий, так как мельчайшие частицы органического вещества почвы, растений, животных, служащие грибам питательным субстратом и практически всегда присутствующие в воздухе, оседают на поверхность конструкций [4].

Большое значение в повышении долговечности и увеличении срока эксплуатации некоторых строительных конструкций имеет место защита их лакокрасочными покрытиями (ЛКП) [4–7]. При этом функция ЛКП сводится к защите конструкций не только от атмосферных воздействий и прочих агрессивных факторов, но и от микробиологической коррозии, в частности от поражения плесневелыми грибами и продуктами их метаболизма. Однако лакокрасочные материалы, эксплуатируемые в условиях, благоприятных для роста и развития плесневелых грибов и бактерий, могут и сами подвергаться микробиологическим повреждениям.

Целью данных исследований является определение влияния микробиологической коррозии на структуру и свойства полиэфирных композитов, используемых в качестве связующего для ЛКП.

При выполнении экспериментальных исследований рассматривалось вяжущее для изготовления композиционных материалов на смоле марки ПН-609-21М (ГОСТ 27952 – 88). Основой для этих смол является полиэтиленгликольмалеинатфталат, который представляет собой прозрачную жидкость от светло-коричневого до темно-коричневого цвета без механических примесей. Вязкость при температуре 20 °С по ВЗ-246 составляет 20–32 с, плотность при 23 °С равна 1,165–1,180 г/см³. Для отверждения вяжущего использовалась двухкомпонентная система, состоящая из ускорителя и инициатора твердения. Ускоритель твердения – УНК-2 (ТУ 2494-002-05015213-2006) – раствор нафтената кобальта в стироле, жидкость от розового до темно-фиолетового цвета, без механических примесей, с содержанием кобальта 1,2–1,5 %. Инициатор твердения (Бутанокс М50) – пероксид метилэтилкетона в растворе диметилфталата (диметилфталат 55–70 %, пероксид метилэтилкетона 35 %, метилэтилкетон 1–5 %, вода 1–3 %).

Исследования проведены с применением математических методов планирования экспериментов. Для оптимизации состава отверждающей системы использована матрица планирования (план Коно), состоящая из 9 опытов. В качестве факторов варьирования рассматривались содержание ускорителя твердения (X_1) и отвердителя (X_2), а в качестве оптимизируемых параметров – прочность композитов на сжатие, изгиб и модуль упругости. Уровни варьирования факторов были

приняты: 0,75 %, 1,21 %, 1,7 % (по количеству ускорителя), 0,94 %, 1,7 %, 2,6 % (по количеству отвердителя).

Составы с различным содержанием отверждающей системы, принятые по матрице планирования, и полученные результаты их физико-механических свойств приведены в таблице 1.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента
(содержание варьируемых компонентов в составах)

№ n/n	Матрица планирования		Рабочая матрица		Предел прочности, МПа	
	X ₁	X ₂	Бутанокс М50, мас. ч	УНК-2, мас. ч	При сжатии	При изгибе
1	+1	+1	2,6	1,7	160,0	107,5
2	-1	+1	0,9	1,7	155,0	68,6
3	+1	-1	2,6	0,8	152,3	95,7
4	-1	-1	0,9	0,8	138,3	75,6
5	-1	0	0,9	1,2	151,0	93,4
6	+1	0	2,6	1,2	131,3	93,3
7	0	-1	1,8	0,8	155,0	96,0
8	0	+1	1,8	1,7	152,3	89,1
9	0	0	1,8	1,2	166,3	111

В последующем нами было исследовано изменение физико-механических свойств образцов, выдержанных в стандартной среде мицелиальных грибов. В качестве тест-организмов использовались следующие виды микромицетов: *Aspergillus oryzae* Cohn; *Aspergillus niger* vgn Tieghem; *Aspergillus terreus* Thom; *Chaetomium globosum* Kunze; *Paecilomyces varioti* Bainier; *Penicillium funiculosum* Thom; *Penicillium chrysogenum* Thom; *Penicillium cyclopium* Westling; *Trichoderma viride* Psix, ex Fr. В каждую чашку помещалось по одному образцу, причем каждый вариант исследовался на 5 образцах. Поверхность образцов заражалась водной суспензией тест-грибов путем равномерного нанесения ее с помощью пульверизатора. После чего чашки Петри с зараженными образцами помещались в специальные пакеты, работающие в экстремальном режиме с влажностью свыше 90 %. Изменение физико-механических свойств композитов фиксировалось в течении 1 года с интервалами 1, 3, 6, и 9 мес.

Анализируя изменения перечисленных свойств, было принято решение выразить характеристики деградации составов по прочности в виде относительной величины, получаемой в виде отношения максимальной начальной прочности среди всех составов к остальным прочностям на всех сроках экспозиции. Классический вариант с использованием коэффициента стойкости в данном случае не представлялся достаточно корректным, так как фактически описывает изменения в рамках одного состава, не учитывая взаимной разницы в свойствах между

ними. Следовательно, все начальные значения исследуемых составов исходили бы из единицы. Максимальной начальной прочностью при изгибе и сжатии обладали образцы состава № 9, значения которых и были взяты в качестве знаменателя относительного показателя. При этом кривые зависимостей сохраняют общий вид, соответствующий графикам абсолютных значений прочностей.

Графические зависимости изменения прочностных свойств приведены на рис. 1 и 2.

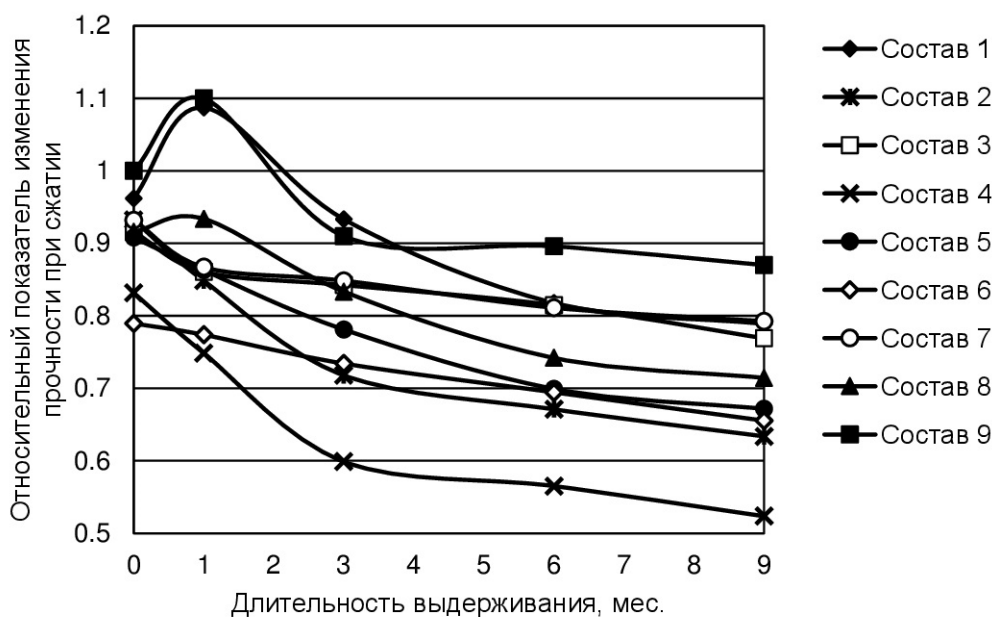


Рис. 1. График изменения прочности при сжатии в зависимости от длительности выдерживания

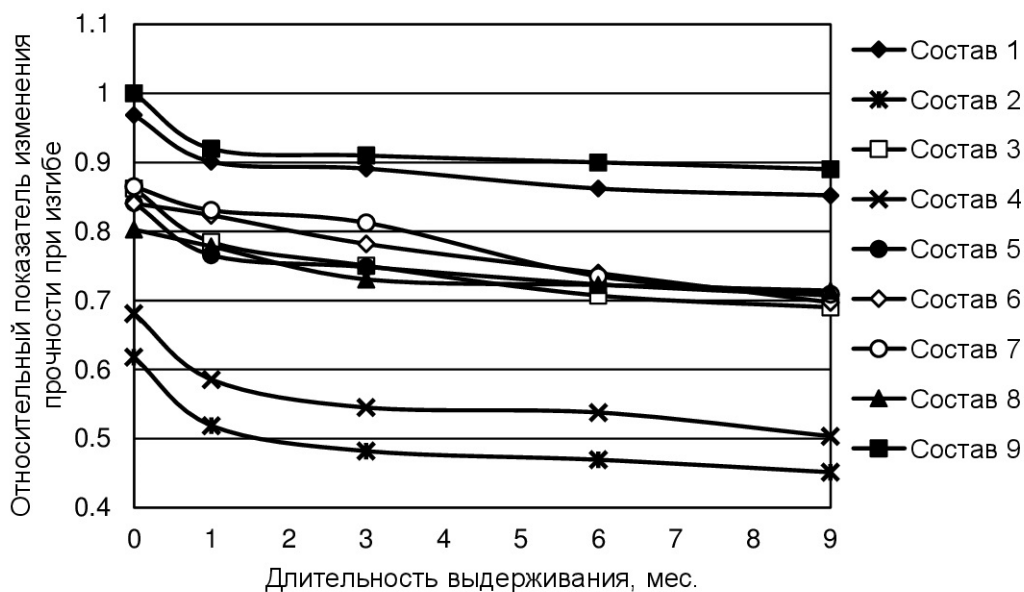


Рис. 2. График изменения прочности при изгибе в зависимости от длительности выдерживания

Поскольку изменение массодержания само по себе является относительной величиной, а абсолютное значение массы образца напрямую не характеризует его свойств вследствие возможных дефектов в его размерах и форме при изготовлении, математический анализ зависимостей проводился непосредственно с полученными результатами.

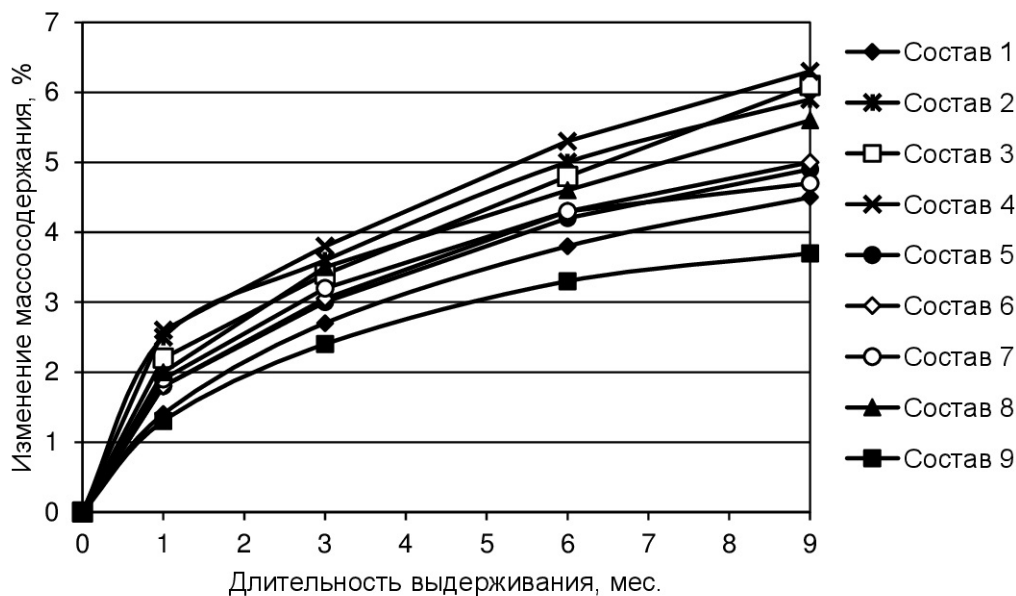


Рис. 3. График изменения массодержания в зависимости от длительности выдерживания

Из приведенных графиков очевидно, что в первые три месяца экспозиции образцов происходят изменения различной структуры, нелинейного характера. Часть образцов испытывает деструктивное упрочнение, часть – резкое снижение прочности. Такое разнообразие зависимостей исключает единое простое математическое описание процесса деградации. Однако, по истечении трех месяцев воздействия агрессивной среды, наблюдается стабилизация изменения свойств, позволяющая использовать для описания линейную зависимость общего вида $y = a + bx$. Здесь коэффициент b будет характеризовать угол наклона аппроксимирующей прямой графика к оси абсцисс в интервале от 3 до 9 месяцев или, другими словами, интенсивность коррозии.

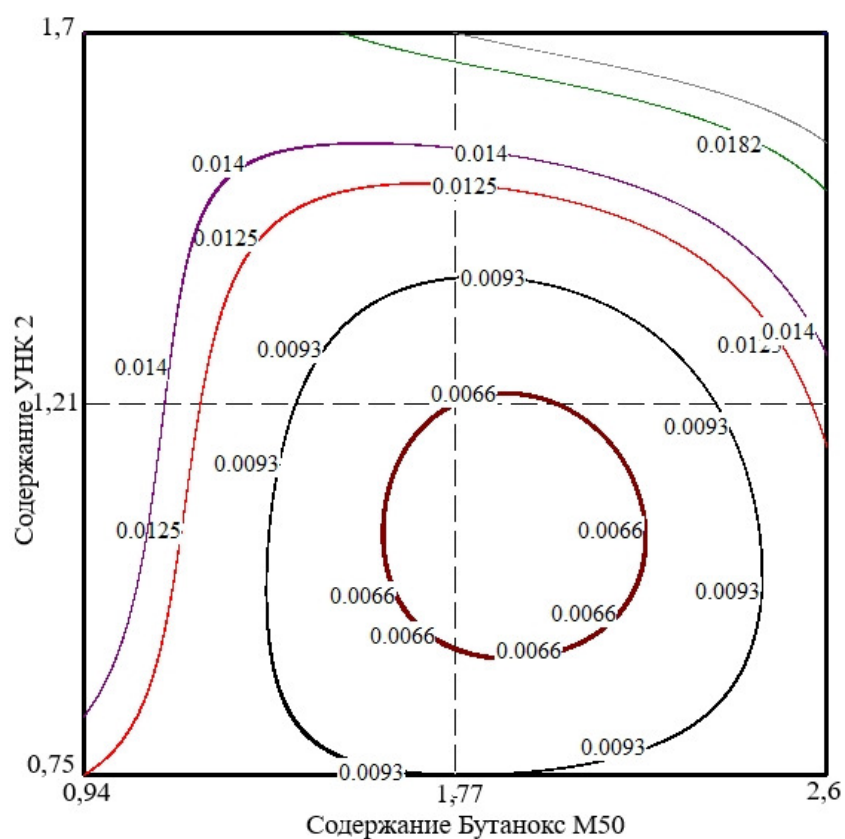
После аппроксимации были получены следующие значения параметров линейных зависимостей для различных свойств образцов каждого состава (табл. 2).

По полученным значениям коэффициентов b , характеризующим интенсивность протекания коррозионных процессов, были получены регрессионные зависимости и отображены изолинии в исследуемом факторном пространстве (рис. 4–6).

Таблица 2

Значения коэффициентов аппроксимирующих зависимостей
для соответствующих свойств исследуемых композитов

№ n/n	Относительный показатель изменения прочности при сжатии		Относительный показатель изменения прочности при изгибе		Изменение массосодержания	
	a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3
1	0,99098	-0,02405	0,90721	-0,00646	1,86667	0,30
2	0,75847	-0,01403	0,4982	-0,00511	2,53333	0,38
3	0,88214	-0,01223	0,77628	-0,01006	2,06667	0,45
4	0,6378	-0,01253	0,57027	-0,00691	2,63333	0,42
5	0,82682	-0,01824	0,76787	-0,00691	2,13333	0,32
6	0,7735	-0,01313	0,82432	-0,01411	2,16667	0,33
7	0,87332	-0,00932	0,85586	-0,01727	2,56667	0,25
8	0,88234	-0,01984	0,73874	-0,0027	2,46667	0,35
9	0,93967	-0,00661	0,91982	-0,0033	1,83333	0,22

Рис. 4. Зависимость изменения $|b_1| \times 10^2$

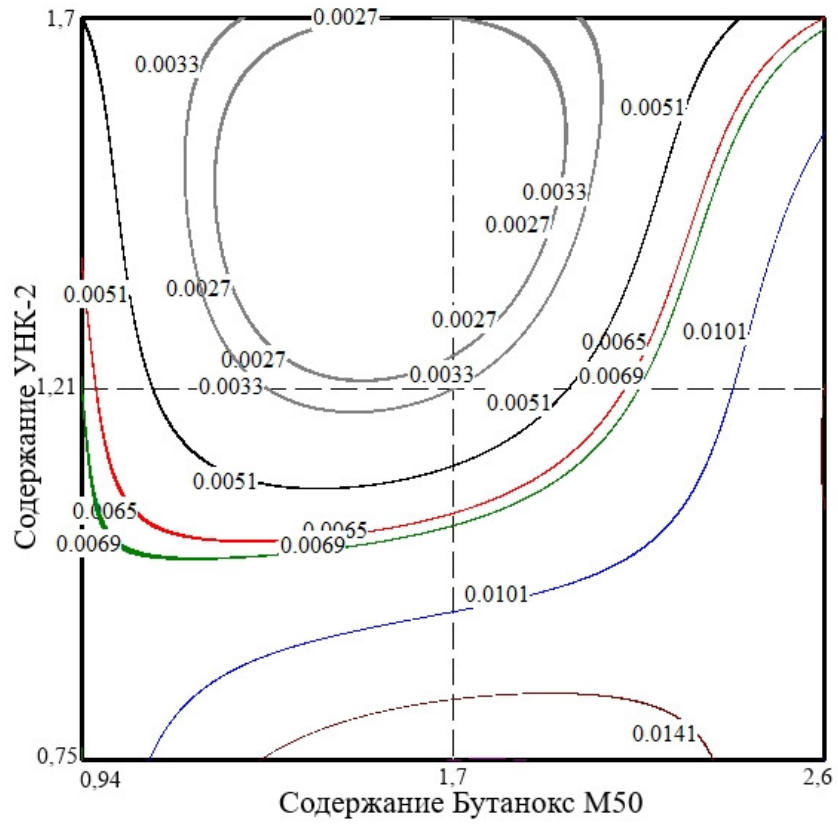


Рис. 5. Зависимость изменения $|b_2| \times 10^2$

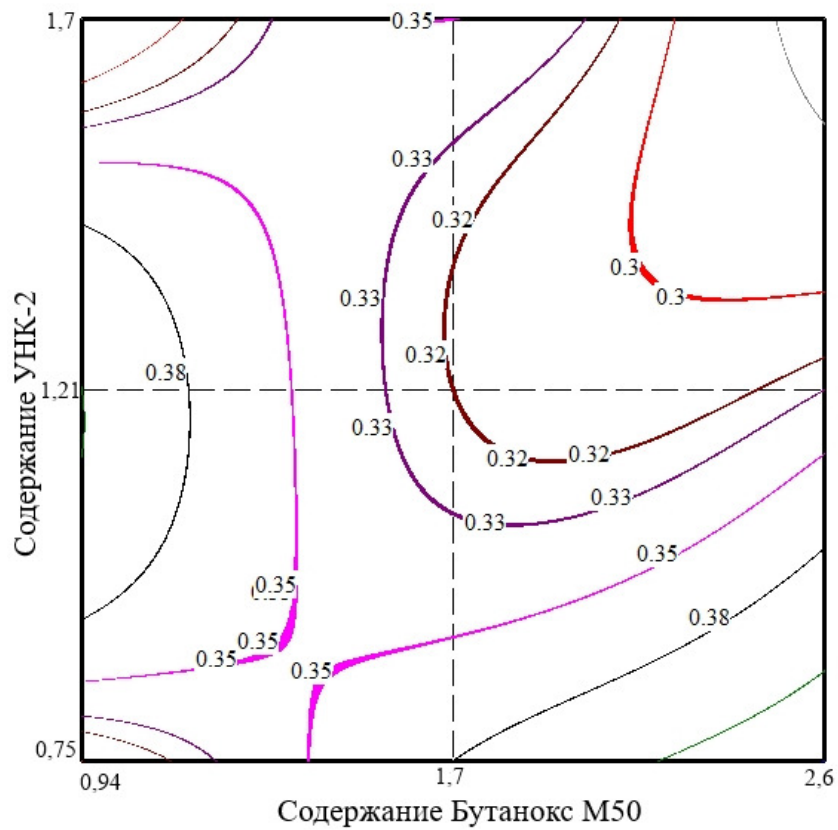


Рис. 6. Зависимость изменения $b_3 \times 10$

Анализируя графические отображения, можно отметить, что на характер деструктивных процессов микроорганизмов в большей степени оказывает влияние содержание ускорителя твердения. Области оптимальных значений долговечности найдены в средней зоне факторного пространства со смещением в сторону снижения содержания компонента УНК-2.

Список литературы

1. Бобрышев А. Н., Ерофеев В. Т., Козомазов В. Н. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем. СПб. : Наука, 2012. 476 с.
2. Ерофеев В. Т., Мищенко Н. И., Селяев В. П., Соломатов В. И. Каркасные строительные композиты : 2 ч. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1995. 200 с.
3. Оптимизация составов биостойких эпоксидных композитов, отверждаемых аминофенольным отвердителем / В. Т. Ерофеев, А. В. Лазарев, А. Д. Богатов, С. В. Казначеев [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2013 № 4 (26). С. 218–227.
4. Исследование биологической стойкости эпоксидных покрытий / С. Н. Богатова, А. Д. Богатов, В. Т. Ерофеев и др. // Лакокрасочные материалы и их применение 2011. № 3. С. 42–45.
5. Бобрышев А. Н., Ерофеев В. Т., Козомазов В. Н. Полимерные композиционные материалы. Саранск, 2013.
6. Бажанова М. Е., Ерофеев В. Т., Бобрышев А. Н. Исследование стойкости полимерных и металлополимерных трубопроводных материалов в условиях воздействия почвенных микроорганизмов // Известия Юго-западного государственного университета. 2011. № 5-2 (38). С. 415–421.
7. Оптимизация содержания компонентов винилэфирных композитов / В. Т. Ерофеев, Е. В. Волгина, С. В. Казначеев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 22–31.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ

А. В. Николаев

Уфимский государственный авиационный технический университет

Известные методы контроля стойкости режущих инструментов при механической обработке металлов позволяют с достаточной точностью контролировать остаточное время работы инструмента. Однако большинство из них основано на электропроводности детали, что ограничивает их применимость к композиционным материалам. В связи с этим в работе рассматривается обобщенная структура информационно-измерительной и управляющей системы контроля стойкости режущего инструмента для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) на основе метода газового анализа вблизи зоны резания. Результатом работы является нейросетевая модель, которая может быть использована в качестве эталонной при создании информационно-измерительной и управляющей системы кон-