

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ

Д.В. Скляревский¹, А.А. Хвостов^{1,2}, С.Г. Тихомиров¹, И.А. Хаустов¹

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий (ВГУИТ), Воронеж, Россия,

² ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия

Приводится описание автоматизированной системы обработки визуальной информации, позволяющей в динамике оценивать состояние резинотехнических изделий в процессе их разрушения (старения). Представлена функциональная схема экспериментальной установки. Приводится краткое описание разработанных методик и алгоритмов, а также разработанной программы для ЭВМ.

Ключевые слова: машинное зрение, алгоритм, методика, климатическая камера, резинотехнические изделия, трещина, старение, разрушение.

Введение

Под воздействием климатических факторов (кислорода и озона, света, температуры влажности), происходит ухудшения физико-механических свойств резинотехнических изделий (РТИ), вызванное старением (рис. 1).

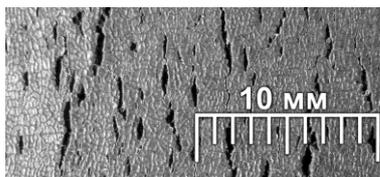


Рис. 1. Пример образца РТИ после проведения испытательного цикла на устойчивость к климатическим факторам

Различают следующие виды старения: тепловое, световое, озонное, комбинированное, старение в агрессивных средах.

При разработке новых типов РТИ наряду с различными механическими испытаниями, осуществляют ряд испытаний образца на устойчивость к воздействиям различных агрессивных сред [1]. Для ускорения процесса исследований осуществляют имитацию воздействий агрессивных сред, идентичных условиям эксплуатации изделия. В целях автоматизации процесса разрушения РТИ применяются климатические камеры. В настоящее время распространение получили климатические камеры, позволяющие имитировать целенаправленное воздействие агрессивной среды для исследуемых образцов резины.

Однако контроль степени и характера разрушения РТИ в климатических камерах на сегодняшний день не автоматизирован и производится, как правило, оператором визуально.

Степень и характер разрушения резины могут быть оценены с использованием анализа фотоснимков изделия, полученных с помощью оптических систем.

На сегодняшний день имеется достаточно много систем визуальной оценки повреждений на различных поверхностях. Методы машинного зрения в области анализа трещинности применяются для оценки степени изношенности дорожных покрытий [2], разрушения железобетонных строений [3], оценки степени повреждения металлоконструкций [4], оценки неоднородности резин [5] и в других сферах.

Несмотря на существующие технические возможности и большой задел в научном и программно-алгоритмическом обеспечении распознавания дефектов на поверхности, автоматический анализ степени и характера разрушения РТИ с использованием методов машинного зрения не нашёл широкого применения в процессе испытаний в климатических камерах в виду отсутствия алгоритмов обработки и визуализации информации специфических для процесса старения РТИ.

Исходя из вышеизложенного, разработка системы обработки информации для автоматизированных систем контроля состояния РТИ в климатических камерах (КК), позволяющей оперативно осуществить мониторинг состояния образцов РТИ, является актуальной научно-технической задачей.

Техническое описание системы

С целью обеспечения получения исходных изображений исследуемого образца РТИ была выполнена разработка функциональной схемы автоматизации процесса измерения визуальных показателей качества о состоянии РТИ в КК.

Функциональная схема экспериментальной установки на примере озоновой испытательной камеры представлена на рис. 2.

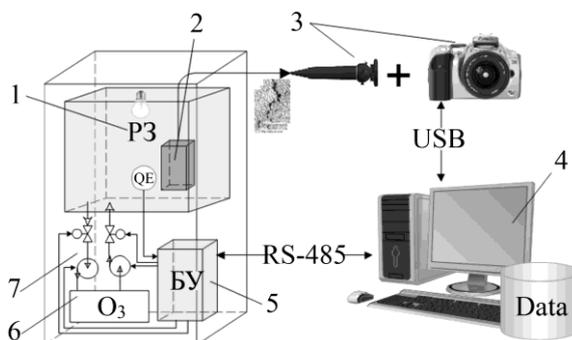


Рис. 2. Функциональная схема автоматизированной системы обработки и визуализации информации о состоянии РТИ на примере озоновой испытательной камеры: 1 – рабочая зона (P3) КК с источником освещения; 2 – образец РТИ; 3 – цифровая фотокамера, сопряженная с фиброскопом; 4 – рабочая станция; 5 – блок управления (БУ) КК; 6 – озоновая установка; 7 – контур регулирования концентрации озона в рабочей зоне КК

Экспериментальные исследования

В целях получения исходных данных для проведения испытаний разработанных алгоритмов обработки изображений, осуществляющих получение визуальной информации о степени и характере разрушения РТИ, проведен ряд экспериментальных исследований по искусственному состариванию ряда образцов изделий изготовленных из различных резин.

В ходе экспериментов была получена серия снимков ряда образцов вулканизатов (с разным содержанием наполнителей) в реальном времени (табл.). При этом образцы находились под воздействием ряда погодных факторов (солнечный свет, влажность, атмосферные загрязнения – озон и оксиды азота), оказывающих на них разрушающее воздействие.

Табл. Рецептуры образцов РТИ

| Состав | № | Обр.1 | Обр.2 | Обр.3 |
|-------------------|---|--------------|--------------|--------------|
| | | | | |
| Каучук НК | | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| Каучук СКС-30АРК | | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| Сера | | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Альтакс | | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Оксид цинка | | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| Стеариновая к-та | | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Мел | | 10,0 | 10,0 | - |
| Белая сажа БС-120 | | - | - | 15,0 |
| Регенерат РШТ | | - | 15,0 | - |
| Итого: | | 122,0 | 137,0 | 127,0 |

Алгоритмическая и программная реализация

Для обеспечения достоверной интерпретации распознаваемых повреждений был разработан ряд алгоритмов и методик, среди которых ключевыми являются:

- методика коррекции координат привязки анализируемого фрагмента для серии изображений образцов РТИ при наличии и отсутствии меток рабочего участка, отличающаяся от существующих методик введением дополнительной проверки на близость кластеров точек с наилучшим сходством к координатам привязки шаблонного изображения [6].
- методика фильтрации и улучшения изображений поверхности образца РТИ, включающая применение алгоритма устранения эффекта засветка Single Scale Retinex (SSR), а также комбинированное использования билатерального фильтра с адаптивным пороговым фильтром [7] с целью устранения дефектов изображения, не относящихся к дефектам типа трещина (например, водяные разводы при поверхностном намочении образца РТИ);
- методика получения динамических характеристик разрушения (старения) РТИ, а также оценки фрактальной размерности поверхности растрескивания, позволяющая установить степень хаотичности зарождения и развития трещин [8]. Ряд динамических характеристик старения для трёх показанных выше образцов РТИ представлен на рис. 3.

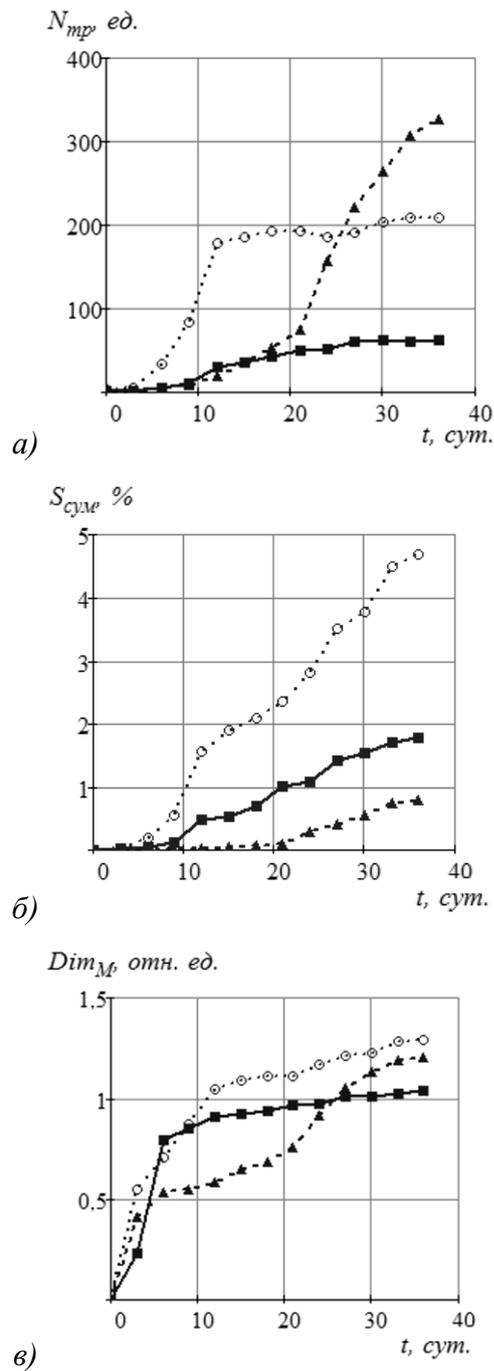


Рис. 3. Динамические характеристики разрушения: а - количество трещин, б – суммарная площадь в % от общей площади поверхности образца, в – фрактальная размерность Минковского, где: $\circ\circ\circ$ - образец 1; $\blacksquare\blacksquare\blacksquare$ - образец 2; $\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle$ - образец 3

— методика оценки степени слияния трещин [9]. Предложен количественный признак, характеризующий долю трещин с наибольшей вероятностью слияния в каждый следующий момент времени (1):

$$J = \begin{cases} 1 - \frac{N_a}{N_b}, & \text{если } N_b > 0, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (1)$$

где N_b и N_a – количество трещин до и после слияния соответственно.

Данный показатель характеризует долю трещин, которые при продолжении старения объединятся.

— методика оценки параметров сетки микротрещин на поверхности образца РТИ с использованием преобразования Хафа [10], позволяющая определять среднюю ширину сеточных ячеек, а также среднюю дистанцию между центрами ячеек. На рис. 4. представлен результат применения преобразования Хафа, к изображению сетки микротрещин образца РТИ. Стрелками показана определяемая ширина сеточных ячеек.

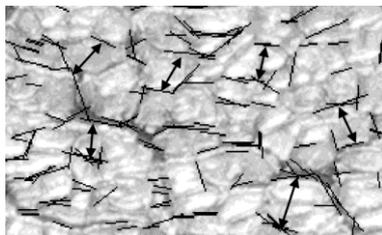


Рис. 4. Применение преобразования Хафа к изображению сетки микротрещин образца РТИ

— модифицированный волновой алгоритм [11], позволяющий выполнить расчёт большинства параметров трещины (средняя и максимальная ширина раскрытия, длина наибольшего сегмента трещины, суммарная длина трещины, количество ответвлений трещины), а также произвести сегментацию трещины, что позволяет перейти к представлению трещины в виде связного графа. Предложен показатель степени разветвлённости трещины (2):

$$Db = \frac{\sum_{j=1}^{Nb} L_{\theta j}}{L_{\max}} - 1, \quad (2)$$

где $L_{\theta j}$ – длина j -го ответвления трещины, L_{\max} – длина наибольшего сегмента трещины (остова).

Трещины с различным показателем разветвлённости Db представлены на рис. 5.

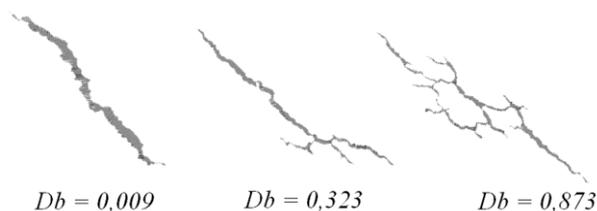


Рис.5. Трещины с различным показателем разветвлённости

— методика визуализации процесса разрушения методом наложения бинарных изображений, позволяющая наглядно приставить очаги распространения трещин. Пример развития единичной трещины представлен на рис. 6.

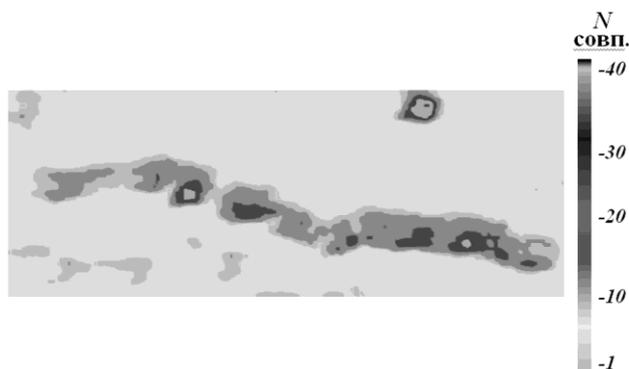


Рис. 6. Визуализация очагов разрушения, где $N_{\text{совп.}}$ – количество совпадающих пикселей в каждой точке при наложении друг на друга бинарных изображений полученной серии фотоснимков

Для реализации и апробации разработанных алгоритмов в среде Qt Creator 3.2.1 [12] на языке высокого уровня C++ и с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV [13] создана программа для ЭВМ «CrannyAnalyzer» [14], позволяющее обрабатывать изображения, полученное от фотокамер, установленных в климатических камерах, а также на открытой местности.

В программе предусмотрены функции расчёта параметров разрушения РТИ (площадь, длина, ширина, угол наклона, фрактальная размерность дефектов и т.д.), включает статистический анализ дефектов, детальный анализ каждого дефекта, анализ сетки поверхностных микротрещин, которые могут быть полезны лицу, принимающему решение.

Заключение

На основе проведенных исследований разработано техническое предложение реализации системы машинного зрения, а также программа для ЭВМ, которая может быть использована при проведении неразрушающего контроля степени старения РТИ непосредственно в процессе исследования образца в климатических камерах. Это позволяет интенсифицировать процесс измерения, подсчёта и анализа визуальных параметров разрушения образца РТИ, а также визуализировать процесс разрушения РТИ. Полученные сведения могут быть использованы для принятия решения о целесообразности модификации рецептуры образца РТИ.

Благодарности

Работа выполнена на кафедре информационных и управляющих систем ФГБОУ ВО ВГУИТ и осуществлялась в рамках государственного задания № 2014/22 (номер НИР 3041) по теме «Синтез multifunctional систем контроля качества для пищевой и химической промышленности».

Авторы выражают благодарность сотрудникам кафедры «Химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» д.т.н., проф., зав. каф. Кармановой О.В. и к.х.н., доц. Молчанову В.И.

Литература

1. Шайдаков, В.В. Свойства и испытания резин / В.В. Шайдаков. – М.: Химия, 2002. – 235 с.
2. Li, L. Automatic pavement crack recognition based on BP neural network / L. Li, L. Sun, G. Ning, S. Tan // *Promet – Traffic&Transportation*. – 2014. – Vol. 26, No. 1. – P. 11-22.
3. Zhang, W. Automatic Crack Detection and Classification Method for Subway Tunnel Safety Monitoring / W. Zhang, Z. Zhang, D. Qi, Y. Liu // *Sensors*. – 2014. – No. 14. – P. 19308-19328. – doi:10.3390/s141019307.
4. Broberg, P. Detection of Surface Cracks in Welds using Active Thermography / P. Broberg, A. Runnemalm // *18th World Conference on Nondestructive Testing, Durban, South Africa*. – 2012. – P. 16-20.
5. Стрижак, Е.А. Оценка неоднородности резин с применением сканирующей атомно-силовой микроскопии / Е.А. Стрижак, Г.И. Раздьяконова, В.И. Неделькин, Н.А. Давлеткильдеев // *Химия и химическая технология*. – 2010. – Т. 53, Вып. 8. – С. 79-83.
6. Складневский, Д.В. Алгоритм коррекции координат привязки к фрагменту в серии изображений с однородными объектами / Д.В. Складневский, А.А. Хвостов, С.Г. Тихомиров, И.А. Хаустов // *Материалы II международной научно-практической конференции «Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн» (г. Тамбов, 17 – 19 ноября 2015 г.)*. – 2016. – вып.2, т.П. – С. 134-136.
7. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман; пер. с англ. – М.: Бином, 2006. – 752 с. (L.G. Shapiro, G.C. Stockman. *Computer Vision*. – New Jersey.: Prentice Hall Inc., 2001).
8. Хвостов, А.А. Алгоритм морфологического анализа трещинности резинотехнических изделий для оценки степени их разрушения / А.А. Хвостов, С.Г. Тихомиров, Д.И. Ребриков, Д.В. Складневский // *Сборник трудов XXIII международного научно-технического семинара «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации»*. Алушта. – 2014. – С. 22-23.
9. Хвостов, А.А. Методика оценки степени разрушения резинотехнических изделий с использованием алгоритмов машинного зрения / А.А. Хвостов, Д.В. Складневский, А.А. Никитченко // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. – 2015. – №2 (64). – С. 72-76.
10. Хвостов, А.А. Применение алгоритмов машинного зрения для выявления сетки волосяных трещин на поверхности резинотехнических изделий / А.А. Хвостов, С.Г. Тихомиров, Д.И. Ребриков, Д.В. Складневский // *Системы управления и информационные технологии*. – 2015. – №3(61). – С. 93-96.
11. Складневский, Д.В. Формализация морфологических свойств трещин в резинотехнических изделиях с использованием алгоритма распространения сферической волны / Д.В. Складневский, А.А. Хвостов, С.Г. Тихомиров, И.А. Хаустов // *Моделирование энергоинформационных процессов. Сборник статей IV международной научно-практической интернет-конференции. г.Воронеж*. – 2016. –С. 107-113.
12. Шлее, М. Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++ / М. Шлее. // СПб.: БХВ-Петербург. – 2015.– 928 с.
13. Библиотека обработки изображений OpenCV [Электронный ресурс]. – URL: <http://opencv.org/> (дата обращения 14.01.2016).
14. Хвостов, А.А. Программное обеспечение системы фото-анализа резинотехнических изделий для автоматизированной оценки степени их разрушения / А.А. Хвостов, Д.В. Складневский, Д.И. Ребриков // *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662598, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27.11.2015*.