

Определение адгезии путем цифровой обработки изображений поверхности покрытий

*Н.М. Антонова, И.А. Зиновьев, Е.Ю. Хаустова,
Ф.М. Болдырев, И.А. Лисниченко*

Каменский институт (филиал) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова

Аннотация: Разработана программа, позволяющая оценить адгезию лакокрасочных покрытий путем анализа изображений поверхности покрытий с отслоениями от защищаемой подложки. Программа реализована на языке Kotlin на платформе JavaFX и ориентирована на испытания, проводимые методом решетчатых надрезов в условиях лакокрасочных производств. В процессе работы производится оценка площади отслоения покрытия от защищаемой поверхности и классификация полученного результата в баллах согласно методу решетчатых надрезов. Применение программы не требует большой вычислительной мощности компьютера и позволяет сократить время получения результатов расчета для одного образца от 20 минут до 3 секунд.

Ключевые слова: адгезия, лакокрасочные покрытия, метод надрезов, язык Kotlin, платформа JavaFX.

Введение

Защитные покрытия широко применяются для улучшения поверхностных свойств материалов. Возникающая между поверхностями контактирующих тел связь – адгезия влияет на качество выпускаемых изделий. Объективным показателем адгезии является адгезионная прочность системы «адгезив – субстрат». Определяется эта характеристика экспериментально, методы оценки отличаются большим многообразием, полученные результаты в значительной мере зависят от условий испытаний, размеров образцов, структурных особенностей наносимых составов. Литературные источники посвящены преимущественно изучению влияния компонентов наносимых составов, модификаторов, ингибиторов на адгезию и адгезионную прочность покрытий, совершенствованию существующих подходов к определению адгезии [1-6]. Что касается используемых на практике методов оценки адгезионной прочности (неразрушающих, разрушающих или косвенных) - все они достаточно трудоемки. Поэтому в



литературе имеется большое количество работ, направленных на изучение подходов, позволяющих уменьшить трудоемкость определения или длительность времени, затраченных на оценку адгезионной прочности контактирующих материалов. Так, в ряде работ адгезионная прочность контактирующих материалов оценивается по адгезии исходной жидкой фазы (расплава, суспензии) к подложке [7, 8]. Применяется методика оценки адгезии структур к подложке с помощью атомно-силовой микроскопии [9]. Разработаны новые теоретические критерии, позволяющие оценить возможную адгезию или антиадгезию пар материалов [10]. Предлагается метод комбинированной оценки когезии и адгезии битума, который опирается на машинные подсчеты площади пятна нанесенного битума [11]. В конечном счете, на практике, выбор метода определения адгезии обусловлен предполагаемой нагрузкой, которой будет подвергаться адгезионное соединение в процессе эксплуатации. Для лакокрасочных покрытий в условиях производства адгезионная прочность определяется методом решетчатых надрезов, по методике, изложенной в ГОСТ 31149-2014. Метод является наиболее используемым, так для него не требуется специального оборудования, а испытание может быть выполнено оперативно. Согласно методике, на поверхность покрытия наносятся насечки до подложки во взаимно перпендикулярных направлениях, в результате получается сетка из отделенных друг от друга квадратиков. По пятибалльной шкале оценивается адгезия покрытия путем сравнения площади отслоений покрытия с табличными величинами (ГОСТ 31149-2014. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.). Главным недостатком метода является, во-первых, субъективность оценки площади - согласно требованиям стандарта, площадь повреждений на покрытии определяется невооруженным глазом или с

помощью лупы и, во-вторых, трудоемкость операции для лаборанта, производящего такую оценку на серии образцов.

Цель работы - разработка программного модуля, позволяющего оценить адгезию покрытий путем анализа изображений поверхности образцов и расчета площади отслоений покрытий от подложки.

Материалы и методы

Для определения адгезионной прочности использовали окрашенные пентофталевой эмалью ПФ-115 в соответствии с ГОСТ 8832-76 пластинки из стали 08кп размером 100x150 мм. Решетчатые надрезы наносились на трех различных участках поверхности. Перед испытанием окрашенные пластинки выдерживались при температуре (23 ± 2) °С не менее 16 часов. В каждом направлении решетчатого рисунка число надрезов размерами не менее 20 мм равнялось шести. По квадратам легким нажимом крест-накрест проводили несколько раз щетинной кистью. Затем кусок липкой ленты длиной не менее 75 мм помещали на решетку параллельно одному из направлений надрезов, разглаживали и через 5 минут плавно удаляли, взяв за свободный конец, при угле отрыва, близком к 60° [13].

Изображения образцов-пластинок с надрезами делали с помощью цифрового микроскопа USB Digital microscope 800X.

Для создания программы, позволяющей рассчитать площадь отслоений на поверхности окрашенной пластинки, на полученном изображении, использована платформа JavaFX. Программа реализована на языке Kotlin.

Обсуждение результатов

В таблице 1 приведена классификация результатов испытания адгезии методом решетчатого надреза согласно ГОСТ 31149-2014.

Таблица № 1

Классификация результатов испытания адгезии методом решетчатого надреза согласно ГОСТ 31149-2014

№ п/п	Классификация в баллах	Описание
1	0	Края надрезов полностью гладкие; ни один из квадратов в решетке не отслоился
2	1	Отслоение мелких чешуек покрытия на пересечении надрезов. Площадь отслоений немного превышает 5% площади решетки
3	2	Покрытие отслоилось вдоль краев и/или на пересечении надрезов. Площадь отслоений немного превышает 5%, но не более 15% площади решетки
4	3	Покрытие отслоилось вдоль краев надрезов частично или полностью на различных частях квадратов. Площадь отслоений немного превышает 15%, но не более 35% площади решетки
5	4	Покрытие отслоилось вдоль краев надрезов широкими полосами и/или некоторые квадраты отделились частично или полностью. Площадь отслоений превышает 35%, но не более 65% площади решетки
6	5	Любая степень отслаивания, которую нельзя классифицировать 4-м баллом шкалы

Для обработки результатов проводимых испытаний, при определении адгезии, разработана программа на языке Kotlin, на платформе JavaFX, которая позволяет создавать кроссплатформенные графические приложения. Платформа включает в себя набор элементов управления двумерной и трехмерной графикой. Kotlin - язык программирования, работающий поверх JVM – спецификации. Является более лаконичным и типобезопасным, чем Java.

Обрабатываемые данные представляют собой изображения испытываемых пластин, формата ".jpg", ".jpeg" и ".png". При обработке

изображений выбирается пользователем цвет для фильтрации и расчета неповрежденных областей. Выбранный цвет покрывает неповрежденные участки пластинки рис.1, при этом места отслоения краски будут отличаться цветом. Для каждого пикселя оригинального изображения рассчитывается цветовое отличие. Для пикселя рисунка значение его цвета сравнивается со значением выбранного цвета. Выбранный цвет пикселя, его координаты (в 3-х мерном пространстве) $R_1; G_1; B_1$ и цвет пикселя неповрежденного участка выбранной пластины - (координаты) $R_2; G_2; B_2$.

Расстояние цветового различия в евклидовом пространстве вычисляется по формуле:

$$\text{distance} = \sqrt{(R_2 - R_1)^2 + (G_2 - G_1)^2 + (B_2 - B_1)^2}$$

Формула не требует большой вычислительной мощности компьютера из-за малого размера входных данных [14, 15].

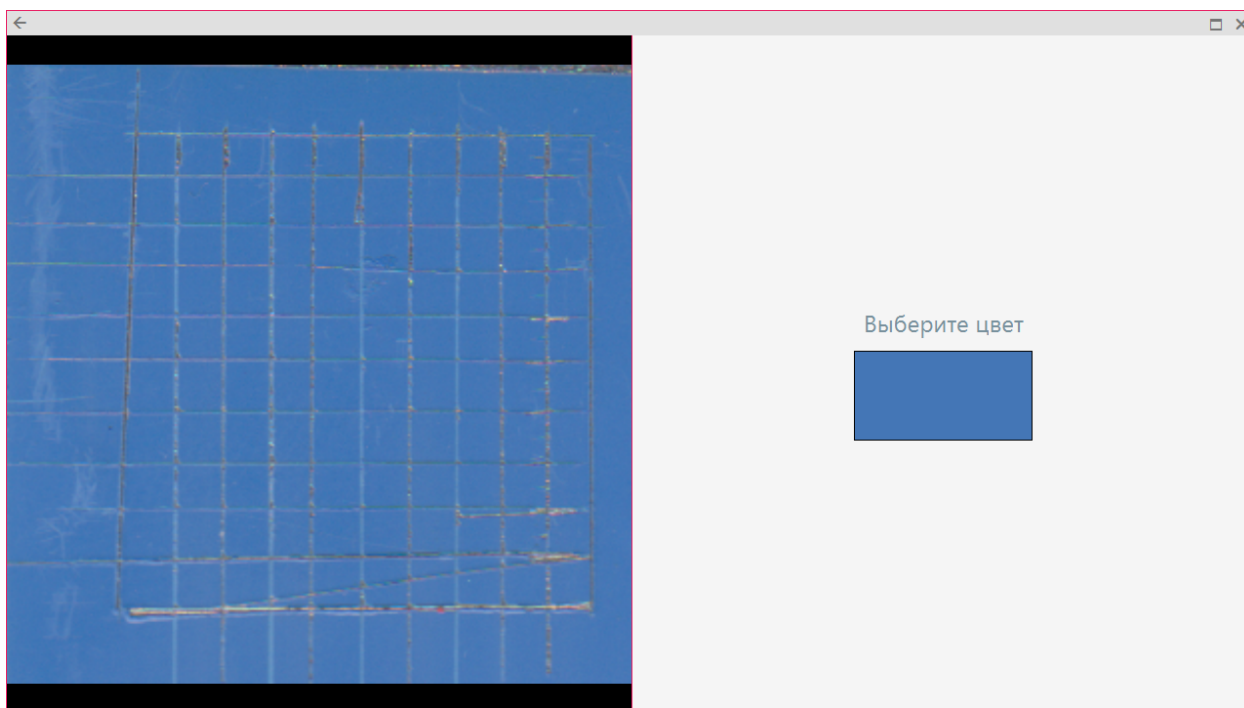


Рис. 1. Выбор цвета неповрежденного участка пластины

В настоящее время существует ряд формул цветового расстояния, в которых используются цветовые пространства, с размещением различных

цветов в трехмерном пространстве либо цилиндра, либо конуса. Однако большинство из них являются просто модификациями RGB без учета для различий в человеческом восприятии цвета, они будут стремиться быть на одном уровне с простой евклидовой метрикой [16, 17].

Далее производится обработка выбранных данных (расчет площади пикселей с выбранным цветом, вычисление % данной площади от общей площади, градация в баллах):

- вычисление общей площади рисунка в пикселях (количество пикселей в ширину \times количество пикселей в высоту);
- счетчик количества белых пикселей (переменная) обнуляется.

Перебор всех пикселей рисунка:

- выбранный цвет – цифровое значение (параметр цвета) сравнивается с цветом пикселя пластины;
- если цвета совпадают (значения равны), то значению цвета пикселя присваивается значение «белый» и счетчик количества белых пикселей увеличивается на единицу, берется следующий пиксель;
- если цвета не совпадают (значения не равны), то значению цвета пикселя присваивается значение «черный», счетчик количества белых пикселей не увеличивается, берется следующий пиксель.

Перебор пикселей осуществляется до конца изображения (последнего пикселя).

Изменение (в процентах) рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{S_{\text{общ}} - S_{\text{бел}}}{S_{\text{общ}}} * 100$$

Где $S_{\text{общ}}$ – общая площадь изображения (количество пикселей), $S_{\text{бел}}$ – количество (площадь) белых пикселей.

Полученный результат k сравниваем с набором диапазонов. Если значение рассчитанного процента изменения:

- Больше 0 и меньше 5, то возвращается результат в 0 баллов;
- Больше 5 и меньше 10, то возвращается результат в 1 баллов;
- Больше 10 и меньше 15, то возвращается результат в 2 баллов;
- Больше 15 и меньше 35, то возвращается результат в 3 баллов;
- Больше 35 и меньше 65, то возвращается результат в 4 баллов;
- Больше 65 и меньше 100, то возвращается результат в 5 баллов.

Полученный результат выводится в двухоконную форму рис.2. В левое окно формы выводится фото пластины в черно-белом изображении. В правое окно цифровой результат, с комментариями: классификация в баллах (от 1 до 5), площадь отслоений в процентах. Для обработки изображения поверхности следующего образца следует вернуться к стартовому экрану, щелкнув на кнопку с изображением стрелки в левом верхнем углу экрана и выбрать изображение другой пластинкой.

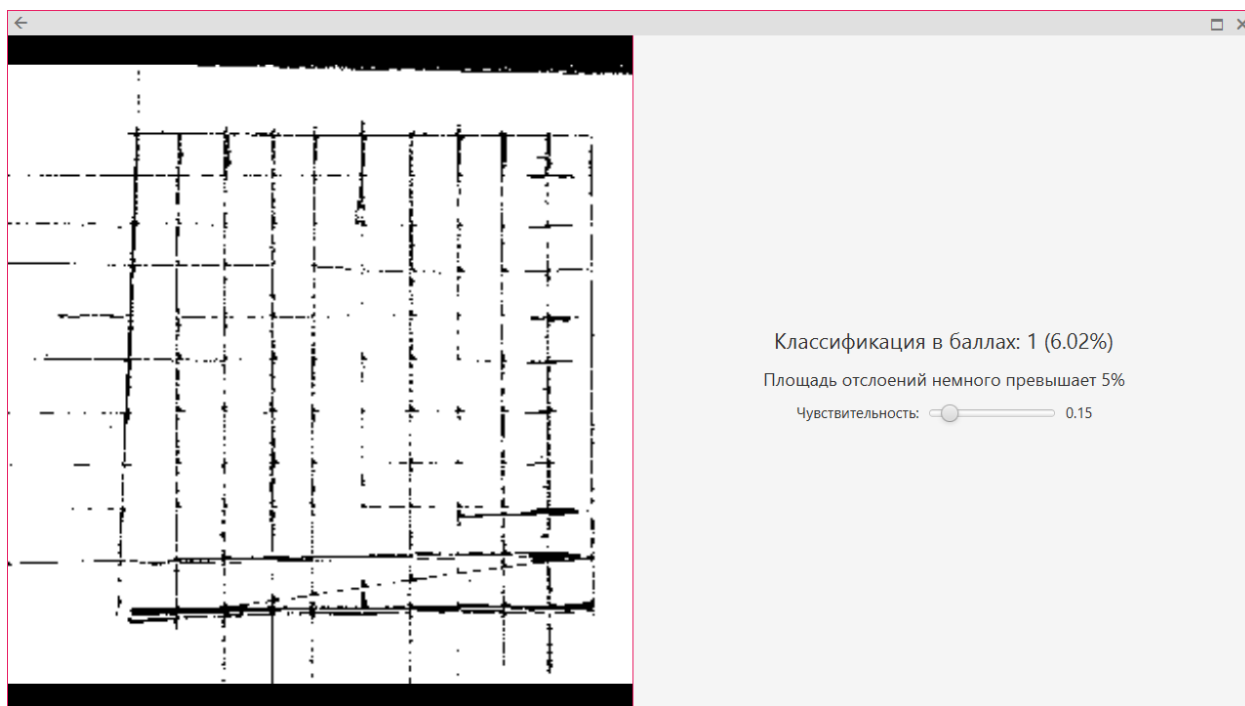


Рис. 2. Пример результата расчета адгезии лакокрасочного покрытия, полученного с использованием программного модуля на языке Kotlin

Выводы

Разработан программный модуль для оценки адгезионной прочности лакокрасочных покрытий к подложке путем цифровой обработки изображения поверхности образцов.

Программа позволяет рассчитать площадь отслоения покрытий от подложки и адгезионную прочность покрытий в баллах, в соответствии с классификацией метода решетчатых надрезов.

Применение предложенного подхода позволяет уменьшить время, необходимое для обработки результатов испытаний для одного образца от 20 минут до 3 секунд.

Литература

1. Сысоев А.К. Влияние ПАВ-ингибиторов на свойства битумно-эмульсионных мастик // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2162/.
2. Петров П.П., Сидоров С.С. Кочерга В.Г., Зырянов В.В., Кулик Е.П. Всесезонный ремонт покрытий автодорог с использованием модифицированных холодных асфальтобетонных смесей // Инженерный вестник Дона, 2012, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/855.
3. Стародубцева Т.Н., Аксомитный А.А. Улучшение адгезии в системе полиэтилентерефталат-древесина // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 4 (20). С. 167-177.
4. Zhang, Y., Zhao, M., Zhang, J., Shao, Q., Li, J., Li, H., Lin, B., Yu, M., Chen, S., Guo, Z. Excellent corrosion protection performance of epoxy composite coatings filled with silane functionalized silicon nitride // Journal of Polymer Research. 2018. 25 (5), p. 130.
5. Мишинов С.В., Чурбанов М.Ф., Ширяев В.В., Снопатин Г.Е. Смачивание, поверхностное натяжение и работа адгезии расплавов стекол As_2S_3 и As_2Se_3 к кварцевому стеклу // Физика и химия стекла. 2016. Т. 42. № 6. С. 713-720.



6. Каменева А.Л., Караваев Д.М., Пепельшев А.В., Пименова Н.В. Методики изучения трибологических характеристик пленок // Технология металлов. 2012. № 2. С.34-37.
 7. Каменева А.Л., Караваев Д.М., Сошина Т.О. Улучшение износостойких и антифрикционных свойств пленок на основе TiN путем оптимизации технологии их формирования методом магнетронного распыления // Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. № 3. С. 34-38.
 8. Антонова Н.М. Оценка адгезионной прочности защитных композиционных покрытий по работе адгезии к твердому телу исходной суспензии // Коррозия: материалы, защита. 2011. № 9. С. 36-42.
 9. Агеев О.А., Блинов Ю.Ф., Ильина М.В., Ильин О.И., Смирнов В.А., Цуканова О.Г. Исследование адгезии вертикально ориентированных углеродных нанотрубок к подложке методом атомно-силовой микроскопии // Физика твердого тела. 2016. Т. 58. № 2. С. 301-306.
 10. Antonova N., Hamouda K., Babichev A., Sayah T. Structure and Mechanochemical Properties of the MoS₂ Solid Lubricant Using Vibration Wave Treatment // Materials Science. 2018. 53 (5), pp. 739-749.
 11. Васильев Ю.И., Субботин И.В., Шелест С.М., Степанищев А.Д. Разработка системы и методики для численной оценки когезионной и адгезионной прочностей битума // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. №5 (24). URL: naukovedenie.ru.
 12. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. 3-е изд. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. 448 с.
 13. Козлов Д. Адгезия по ГОСТу // Промышленная окраска: материалы, технологии, оборудование. 2016. № 3. С. 24-28.
 14. Прохоренок С.А. OpenCV и Java. Обработка изображений и компьютерное зрение. СПб.: БХВ-Петербург, 2018. 320 с.
-



15. Кадомцев С.Б. Аналитическая геометрия и линейная алгебра. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. 168 с.
16. Малыхина М.П., Шичкин Д.А. Аспекты практического применения цветового различия для распознавания и выделения границ изображений // Научный журнал КубГАУ, 2013, № 89(05) URL: ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/42.pdf.
17. Животягин.П. Цветовые модели CMYK, RGB, Lab, HSB // Электронный журнал «CIFRAMagazine», 2012, № 6 URL: ciframagazine.com/post.php?id=117.

References

1. Sysoyev A.K. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2162/.
 2. Petrov P.P., Sidorov S.S. Kocherga V.G., Zyryanov V.V., Kulik Ye.P. Inzhenernyy vestnik Dona (Rus), 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/855.
 3. Starodubtseva T.N., Aksomitnyy A.A. Lesotekhnicheskiy zhurnal. 2015. T. 5. № 4 (20). P. 167-177.
 4. Zhang, Y., Zhao, M., Zhang, J., Shao, Q., Li, J., Li, H., Lin, B., Yu, M., Chen, S., Guo, Z. Journal of Polymer Research. 2018. 25 (5), p. 130.
 5. Mishinov S.V., Churbanov M.F., Shiryayev V.V., Snopatin G.Ye. Fizika i khimiya stekla. 2016. T. 42. № 6. P. 713-720.
 6. Kameneva A.L., Karavaev D.M., Pepelyshev A.V., Pimenova N.V. Tekhnologiya metallov. 2012. № 2. P.34-37.
 7. Kameneva A.L., Karavaev D.M., Soshina T.O. Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya. 2012. № 3. P. 34-38.
 8. Antonova N.M. Korroziya: materialy, zashchita. 2011. № 9. P. 36-42.
 9. Ageyev O.A., Blinov YU.F., Il'ina M.V., Il'in O.I., Smirnov V.A., Tsukanova O.G. Fizika tverdogo tela. 2016. T. 58. № 2. P. 301-306.
-



10. Antonova N., Hamouda K., Babichev A., Sayah T. Materials Science. 2018. 53 (5), p. 739-749.
11. Vasil'yev YU.I., Subbotin I.V., Shelest S.M., Stepanishchev A.D. Internet-zhurnal «Naukovedeniye». 2014. Vyp. 5 (24). URL: naukovedenie.ru.
12. Yakovlev A.D. Khimiya i tekhnologiya lakokrasochnykh pokrytiy [Chemistry and technology of paint and varnish coatings]. 3-ye izd. SPb.: KHIMIZDAT, 2008. 448 p.
13. Kozlov D. Adgeziya po GOSTu Promyshlennaya okraska: materialy, tekhnologii, oborudovaniye. 2016. № 3. P. 24-28.
14. Prokhorenok S.A. OpenCV i Java. Obrabotka izobrazheniy i komp'yuternoye zreniye [Chemistry coatings and varnish coatings]. SPb.: BKHV-Peterburg, 2018. 320 p.
15. Kadomtsev S.B. Analiticheskaya geometriya i lineynaya algebra [Analytical geometry and linear algebra]. 2-ye izd., ispr. i dop. M.: FIZMATLIT, 2011. 168 p.
16. Malykhina M.P., Shichkin D.A. Nauchnyy zhurnal KubGAU, 2013, № 89(05). URL: ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/42.pdf.
17. Zhivotyagin.P. Elektronnyy zhurnal «CIFRAMagazine», 2012, № 6. URL: ciframagazine.com/post.php?id=117.