

## АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ КУЗОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МЕСТАХ ПРИМЫКАНИЯ ЛОБОВЫХ СТЕКОЛ

Д.Н. Прошин<sup>1</sup>, А.Н. Кузьмин<sup>2</sup>, А.Д. Кустиков<sup>3</sup>

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия

<sup>1</sup>e-mail: proshdn@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: kuzminlanton@mail.ru

<sup>3</sup>e-mail: kustikov-ad@yandex.ru

**Аннотация.** Характерными дефектами лакокрасочного покрытия (ЛКП) кузовов автомобилей, изготавливаемых по современным технологиям окраски, являются коррозионные повреждения металла панели крыши. Дефекты в виде коррозии панели крыши концентрируются на кромке в месте штатного примыкания лобового стекла.

Со временем на окрашенной поверхности изгиба панели крыши в месте примыкания лобового стекла появляются участки с отколовшимся до металла лакокрасочным материалом. ЛКП выше области коррозионных поражений металла имеет вздутия, указывающие на распространение подпленочной коррозии. Ряд дефектов сопровождается нитевидными, визуально похожими на паутину, вздутиями покрытия, которые следует отнести к нитевидной коррозии.

Целью данного исследования является анализ причин разрушений ЛКП и разработка мер, предупреждающих развитие очагов коррозии, позволяя значительно снизить затраты производителей и автовладельцев на гарантийный ремонт и эксплуатацию.

С повышением температуры скорость коррозии, как и многих химических процессов, возрастает, так как увеличиваются скорость диффузии, растворимость продуктов коррозии и другие процессы.

С целью исследования распределения энергии тепла от штатной климатической установки при прогретом двигателе внутреннего сгорания, был выбран режим направления воздушного потока на лобовое стекло при максимальной производительности и при помощи тепловизора были выполнены измерения тепловых полей.

В процессе эксплуатации температура стали кузовного элемента (панели крыши) служит одним из определяющих факторов появления изучаемых дефектов. Развитие коррозии в рассматриваемой ситуации зависит от уровня перемещения тепловых потоков, производимых климатической установкой, и термодинамического сопротивления накопленных наружных отложений в нише (щели) между лобовым стеклом и кромкой панели крыши.

Удаление отложений производится при проведении моечных работ. Предложено рассчитать периодичность моечных работ, чтобы предупредить развитие коррозии.

Данное исследование также имеет практическое применение при проведении технических экспертиз производителями и независимыми организациями.

**Ключевые слова:** кузов автомобиля, лакокрасочное покрытие, распределение энергии тепла, разница коэффициентов теплопроводности, коррозия, периодичность обслуживания.

**Для цитирования:** Прошин Д. Н., Кузьмин А. Н., Кустиков А. Д. Анализ дефектов лакокрасочного покрытия кузовных элементов в местах примыкания лобовых стекол // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 135-144. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-135.

## THE METHOD OF ANALYSIS OF THE DEFECTS IN PAINTWORK BODY ELEMENTS IN PLACES OF AN ADJUNCTION OF GLASS

D.N. Proshin<sup>1</sup>, A.N. Kuzmin<sup>2</sup>, A.D. Kustikov<sup>3</sup>

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>1</sup>e-mail: proshdn@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: kuzminlanton@mail.ru

<sup>3</sup>e-mail: kustikov-ad@yandex.ru

**Abstract.** Characteristic defects of paint and varnish coating (LCP) of car bodies, manufactured according to modern painting technologies, are corrosion damage to the metal roof panel. Defects in the form of corrosion of

the roof panel are concentrated on the edge in the place of the regular junction of the windshield.

Over time, on the painted surface of the bend of the roof panel at the junction of the windshield there are areas with a breakaway paint material to the metal. LCP above the area of corrosion lesions of the metal has swelling, indicating the spread of sub-film corrosion. A number of defects are accompanied by thread-like, visually similar to the web, swelling of the coating, which should be attributed to thread-like corrosion.

The purpose of this study is to analyze the causes of destruction of LCP and the development of measures that prevent the development of corrosion foci, will significantly reduce the costs of manufacturers and car owners for warranty repair and operation.

With increasing temperature, the rate of corrosion, as well as many chemical processes, increases, as the rate of diffusion, solubility of corrosion products and other processes increase.

In order to study the distribution of heat energy from the standard climate system with a heated internal combustion engine, the mode of directing the air flow to the windshield at maximum performance was selected and measurements of thermal fields were made with the help of a thermal imager.

During operation, the temperature of the steel body element (roof panel) is one of the determining factors of the appearance of the studied defects. The development of corrosion in this situation depends on the level of movement of heat flows produced by the climate system, and the thermodynamic resistance of accumulated external deposits in the niche (gap) between the windshield and the edge of the roof panel.

Removal of deposits is carried out during washing operations. It is proposed to calculate the frequency of washing operations to prevent the development of corrosion.

This study also has practical application in conducting technical examinations by manufacturers and independent organizations.

**Keywords:** car body, paint and varnish coating, heat energy distribution, thermal conductivity coefficient difference, corrosion, maintenance periodicity.

**Cite as:** Proshin, D.N., Kuzmin, A.N., Kustikov, A.D. (2019) [The method of analysis of the defects in paint-work body elements in places of an adjunction of glass]. *Intellekt. Innovatsi. Investitsii* [Intellect. Innovation. Investments]. Vol. 8, pp. 135-144. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-135.

## Введение

Разрушения ЛКП зачастую являются поводом для претензий клиентов дилерских центров на качество автомобилей. При этом в отличие от транспортных компаний частные автовладельцы могут пренебрегать ежедневным обслуживанием, в том числе уборочно-мочными работами.

Основными дефектами кузовов являются механические повреждения (в том числе сколы от камней или шипов) и коррозия, возникающая после отделения ЛКП или распространяющаяся в виде нитей, преимущественно под неметаллическими защитными покрытиями. В отличие от сколов, которые появляются случайным образом, очаги коррозии под ЛКП распространяются постепенно. Значительное влияние на их развитие, оказывают: температурный режим в местах образования дефектов; границы перепада температур; наличие или отсутствие скоплений влажных загрязнений.

Результаты данной работы имеют практическую ценность для инженерно-технического персонала станций технического обслуживания автомобилей и внедрены в учебный процесс кафедры «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р.Е.Алексеева.

Цель исследования состоит в анализе причин разрушения ЛКП кузовов автомобилей и разработке дополнений к перечню технического обслуживания (ТО), направленных на повышение долговечности покрытия. Достижение поставленной цели позво-

лит снизить затраты производителей на проведение гарантийных работ, а также автовладельцев при эксплуатации.

Объектом разработки является ЛКП крыши автомобиля HYUNDAI I40, представленной на рисунке 1.

Площадь участков с отсутствием лакокрасочного материала различна, в ряде случаев составляет от  $2 \times 1$  мм<sup>2</sup>, до  $25 \times 15$  мм<sup>2</sup> и более, имеет преимущественно овальную или эллипсоидную форму [1, 4, 7].

В местах полной утраты ЛКП наблюдается подпленочная и нитевидная коррозия металла панели крыши (рисунки 2, 3). Зона распространения коррозионных проявлений по кромке панели крыши ограничена резиновым уплотнителем ветрового стекла.

## Анализ распределения температуры поверхности

При помощи тепловизора FLUKE Ti105 проведен анализ распределения температуры исследуемой поверхности. Распределение температуры отображалось на дисплее прибора в цвете, где разным температурам соответствовали разные оттенки цвета. Данные сохранялись на CD карту прибора. Изучение тепловых изображений (термограмм) выполнялись после осмотра. Термограммы – изображения в инфракрасных лучах, показывающие картину распределения температурных полей.

Из полученных снимков (рисунки 4, 5) следует, что наибольший нагрев лобового стекла происходит в нижней части, чуть выше зоны покоя стеклоочистителей. Нагрев происходит равномерно, с правой

и с левой стороны, максимально достигая примерно 33–34 °С соответственно. Средняя часть стекла имеет существенно меньший нагрев. Далее можно наблюдать равномерный прогрев верхней части стекла.



Рисунок 1. Дефекты ЛКП на панели крыши

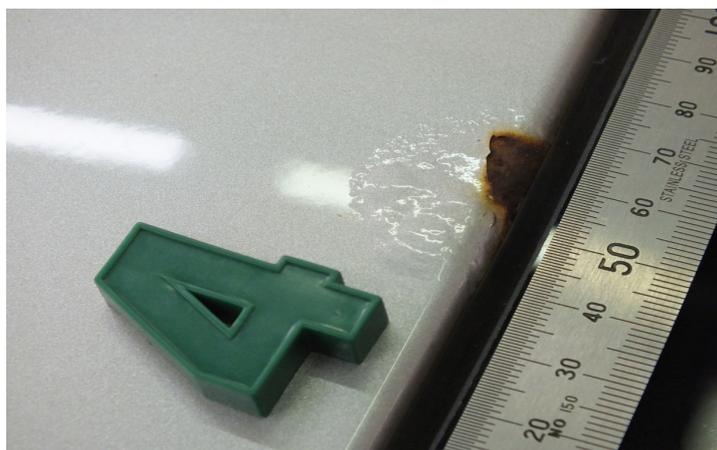


Рисунок 2. Скол ЛКП до металла на кромке панели крыши, подпленочная коррозия

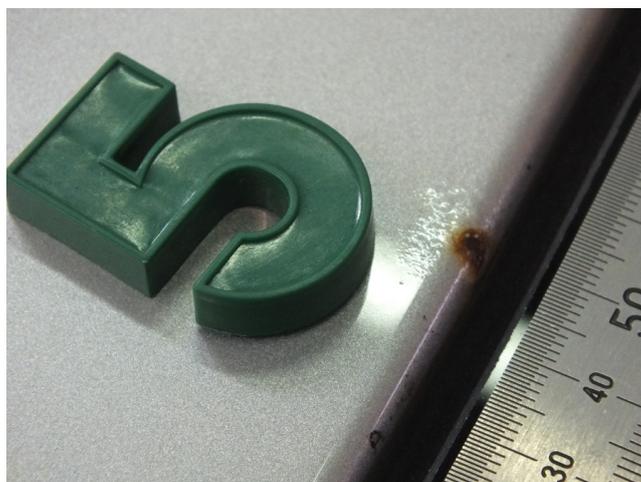


Рисунок 3. Скол верхних слоев ЛКП (правее) и до металла на кромке панели крыши, нитевидная коррозия



Рисунок 4. Тепловизионный снимок ветрового стекла

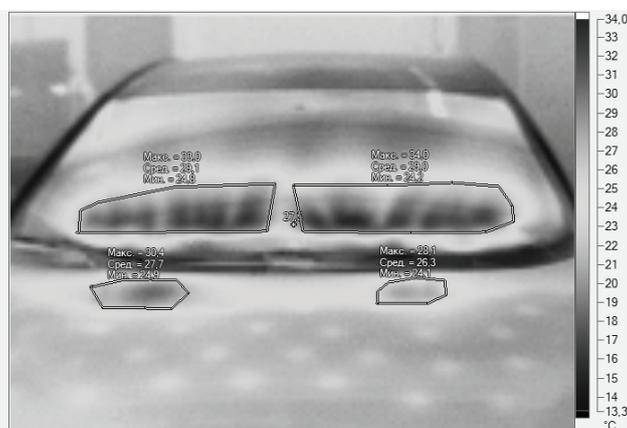


Рисунок 5. Распределение температурных полей

Отдельно были исследованы правая и левая стороны ветрового стекла в месте примыкания панели крыши. По результатам выявлено, что кромка панели крыши в местах непосредственного образования дефектов ЛКП имеет температуру нагрева на 8–10 °С меньше, чем верхняя часть лобового стекла и на 4–5 °С меньше, чем передняя часть панели крыши на расстоянии до 10 см от кромки панели крыши. Далее по панели крыши нагрев распределен не равномерно. Средняя часть не прогревается выше – 2–0 °С.

В процессе эксплуатации температура стали кузовного элемента (панели крыши) служит одним из определяющих факторов появления изучаемых дефектов. Развитие коррозии в рассматриваемой ситуации зависит от уровня перемещения тепловых потоков, производимых климатической установкой, и термодинамического сопротивления накопленных наружных отложений в нише (щели) между лобовым стеклом и кромкой панели крыши.

Временные напряжения в ЛКП достигают наибольших значений и становятся особенно опасными в тех случаях, когда кузов автомобиля подвергается

в процессе эксплуатации резким сменам температур окружающей среды. Повышение теплопроводности ЛКП – это наиболее эффективный и доступный способ снижения временных напряжений, вызываемых термическим ударом. При резком перепаде температур в лакокрасочном покрытии образуются внутренние микротрещины. Образование трещин вызывается низким коэффициентом расширения анодной пленки. Уровень тепловых потоков оказывает влияние и на скорость коррозии.

#### Анализ конструкции соединения стекла и крыши

Роль теплового потока как ускорителя коррозионных процессов сводится к изменению температуры наружных отложений, накопленных в нише (щели) между лобовым стеклом и кромкой панели крыши, а, следовательно, к изменению их агрегатного состояния. Область скопления наружных отложений в месте штатного примыкания лобового стекла к панели крыши представлена на рисунке 6. Конструктивно в месте формирования дефектов установлен уплотнитель и имеется небольшое углубление.

Сформированная ниша (щель) позволяет загрязнениям накапливаться и удерживаться некото-

рое время в месте примыкания ветрового стекла с уплотнителем к панели крыши.

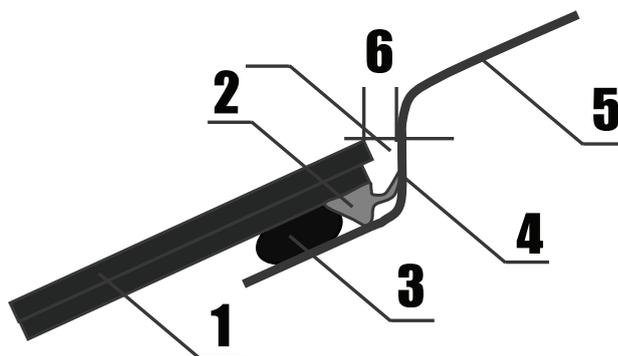


Рисунок 6. Место скопления наружных отложений:

1 – лобовое стекло; 2 – уплотнительный профиль; 3 – полиуретановый клеевой герметик; 4 – место контакта уплотнителя и панели крыши; 5 – панель крыши; 6 – зазор между стеклом и панелью крыши; 7 – ниша (щель), в которой скапливается и удерживается влага и загрязнения при эксплуатации

Таким образом, отведение влаги и загрязнений в данном месте затруднено, что способствует длительному воздействию негативных факторов окружающей среды на ЛКП [2, 3, 9].

Скапливаемая в нише влага вызывает усиление коррозии металла. В случае неплотного контакта металла с неметаллическим коррозионно-инертным материалом также имеет место распространение подпленочной коррозии. Коррозионностойкие материалы обладают повышенной стойкостью к коррозии. Они применяются для изготовления деталей, узлов, аппаратов и конструкций, работающих в коррозионноактивных средах без дополнительных мер защиты от коррозии. К коррозионно-инертным материалам относят собственно коррозионноинертные материалы, а также антикоррозионные материалы [10, 14].

В зависимости от природы материала коррозионно-инертные материалы подразделяют на металлические и неметаллические.

Указанные неметаллические материалы используют в качестве конструкционных, футеровочных, обкладочных и прослоечных, лакокрасочных покрытий и композиций.

В рассматриваемом случае коррозионно-инертным материалом следует считать резиновый уплотнитель стекла.

Согласно ГОСТ 5272-68 «Коррозия металлов. Термины» П. 45 Щелевая коррозия – усиление коррозии в щелях и зазорах между двумя металлами, а также в местах неплотного контакта металла с не-

металлическим коррозионно-инертным материалом.<sup>1</sup>

В случае если между уплотнителем стекла и панелью крыши имеется зазор, в нем скапливаются частички загрязнений. Эти частицы приводят к процессу абразивного изнашивания. Если данные частицы переносятся в процессе движения во время дождя, допустимо говорить о гидроабразивном изнашивании.

ГОСТ 27674-88 «Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения» раскрывает указанные понятия. Абразивное изнашивание – механическое изнашивание материала в результате режущего или царапающего действия твердых тел или твердых частиц. Гидроабразивное (газообразное) изнашивание – абразивное изнашивание в результате действия твердых тел или твердых частиц, увлекаемых потоком жидкости (газа).<sup>2</sup>

При данных видах изнашивания нарушается целостность ЛКП. При этом ЛКП разрушается до подложки (металла), скапливаемая в нише (щели) влага проникает через образовавшиеся повреждения и приводит к развитию подпленочной и нитевидной коррозии на панели крыши.

Закономерным является увеличение роста внутренних напряжений с ростом скорости охлаждения ЛКП и уменьшение их в случае покрытий из кристаллических полимеров [5, 11].

Последнее находит объяснение в конкурирующих процессах релаксации и кристаллизации: малое время релаксации способствует увеличению напряжений, тогда как уменьшение степени кристал-

<sup>1</sup> ГОСТ 9.032-74. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Классификация и обозначения. – М.: Стандартинформ, 2006 г. – 23 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 27674-88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1992 г. – 20 с.

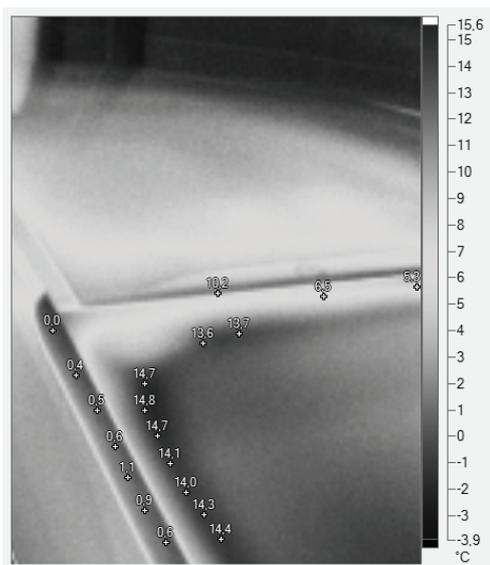
личности при закалке – их снижению. Охлаждение при воздействии жидкости приводит к уменьшению напряжений и предотвращает образование микротрещин.

### Влияние окружающей среды

Независимо от вида покрытия нагревание приводит к постепенному спаду внутренних напряжений, что объясняется снижением модуля упругости и ростом скорости релаксационных процессов. Напряжения становятся равными нулю при температурах стеклования (в случае аморфных полиме-

ров) или плавления – (у кристаллических) [8, 12].

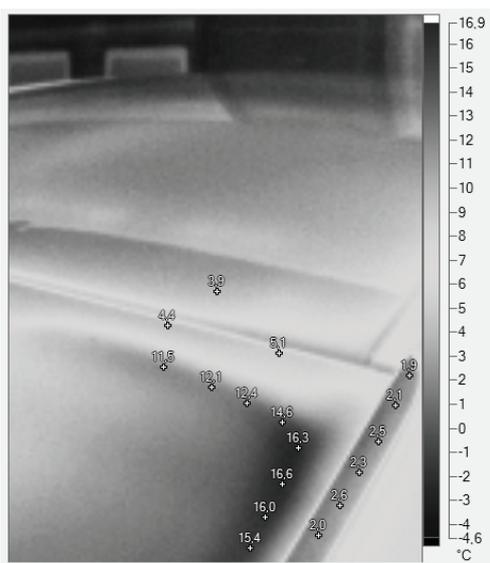
Температура стеклования – температура, при которой высокоэластичное вещество становится твердым, т.е. переходит в стеклообразное состояние. Температура стеклования по своей природе не аналогична переходам вещества из одного агрегатного состояния в другое. В стеклообразном состоянии полимер ведет себя как твердое и хрупкое тело, что характеризуется высоким модулем упругости и очень низкой эластичностью, и пластичностью. Даже небольшая деформация способна привести к разрушению (рисунок 7).



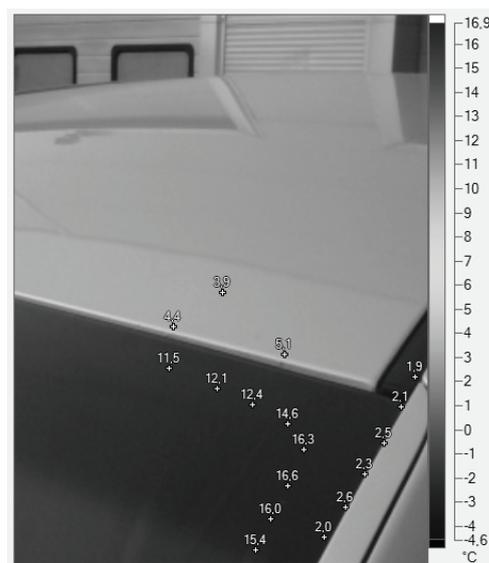
(а) – распределение температурных полей на ветровом стекле справа



(б) – фото ветрового стекла справа



(в) – распределение температурных полей на ветровом стекле слева



(б) – фото ветрового стекла слева

Рисунок 7. Исследование сопряжения ветровое стекло – кромка панели крыши

При последующем охлаждении покрытий напряжения снова восстанавливаются. При этом небезразлично, от какой температуры охлаждается покрытие.

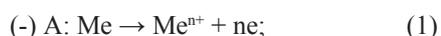
В случае кристаллических полимеров старый порядок и структура полностью разрушаются лишь при существенном нагревании.

Материал подложки не сказывается на формировании усадочных напряжений, однако сильно влияет на термические напряжения. При этом определяющим является термический коэффициент линейного расширения. У металлов, например, он в 5–20 раз меньше, чем у полимеров, а у стекла – в 10–50 раз. Соответственно в последнем случае и напряжения выше.

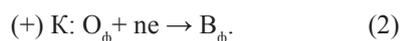
Вскрывать дефекты, выявленные в панели крыши, технически трудно. Все дефекты идентичны по природе происхождения. Ввиду их многочисленности, отчётливо прослеживаются все стадии их развития. Дефекты, имеющие отслоение ЛКП от поверхности металла, позволяют установить неоднородность металла, изменения его структуры в виде углубления (каверны, кратера). Выявленный дефект следует признать электрохимической коррозией на панели крыши.

Электрохимическая коррозия металлов представляет собой самопроизвольное разрушение металлических материалов вследствие электрохимического воздействия их с окружающей электролитически проводящей средой, при которой ионизация атомов металла и восстановление окислительного компонента коррозионной среды протекают не в одном акте, и их скорости зависят от величины электродного потенциала металла. Процесс электрохимической коррозии представляет собой совокупность двух сопряженно протекающих на поверхности металла реакций:

а) анодной «А» (сопровождающейся окислением металла «М» на его анодных участках):



б) катодной «К», (сопровождающейся восстановлением окислителя «О<sub>ф</sub>» на его катодных участках с образованием его восстановленной формы «В<sub>ф</sub>»):



Причиной ее возникновения является химическая, энергетическая и другие виды неоднородности поверхности металла, т. е. разделение на катодные и анодные участки. Последние, имея очень малые размеры и чередуясь друг с другом, в токопроводящей среде представляют собой совокупность огромного числа короткозамкнутых микрогальванических элементов, поэтому электрохимическую

коррозию часто называют гальванической коррозией [4, 15].

Выделяют три основные причины, создающие неоднородность в системе металл-электролит, а, следовательно, и возникновение коррозионных микроэлементов:

– неоднородность металлической фазы (неоднородность сплава по химическому и фазовому составам, наличие примесей в металле, пленок на его поверхности и др.);

– неоднородность жидкой фазы (различная концентрация в электролите ионов данного металла и растворенного кислорода на отдельных участках контакта фаз, разница в рН отдельных зон объема электролита);

– неоднородность наложения внешних условий (разница температур на отдельных участках поверхности металла, различный уровень механических напряжений в одной и той же детали и др.).

С помощью цифрового толщиномера ЛКП Константа КбЦ была измерена толщина в центре дефекта. Она составила величину в 294 мкм, что свидетельствует о проникновении коррозии вглубь металла.

Выше (рисунок 7) приведены термограммы теплового нагружения различных зон лобового стекла и кромки панели крыши исследуемого автомобиля при температуре окружающей среды – 5 °С.

На ЛКП панели крыши в области лобового стекла также отсутствуют какие-либо механические повреждения в виде нарушения его целостности за исключением локальных сколов и царапин.

В области формирования дефектов в непосредственной близости к кромке повреждений стекла с отколовшимся до металла лакокрасочным материалом также не имеется, что позволяет судить о производственной причине возникновения данных дефектов на панели крыши в виде очага коррозии [1, 3, 6].

### Корректирование обслуживания ЛКП

Безусловно, наличие таких дефектов на новых автомобилях зачастую является основанием для возврата продавцу. При этом замедлить процесс разрушения ЛКП автомобилей, срок гарантии на которые уже закончился или если владельцем является юридическое лицо, можно путем уменьшения периодичности уборочно-моющих работ. Методом определения оптимальной периодичности по допустимому уровню безотказности было установлено, что при эксплуатации в г. Нижнем Новгороде (наработки до накопления грязевых отложений на кромке стекла слоем до 0,5 мм фиксировались в течение года на 5 автомобилях со средним ежемесячным пробегом 3450 км) необходимо проводить бесконтактную мойку кузова через каждые 850 км.

### Заключение

За счет большой разницы коэффициентов теплопроводности стекла, железа и ЛКП (у стекла 1,0–1,15 Вт/м·К, у стали 08кп, 08ю и их зарубежных аналогов – 59–64 Вт/м·К, у ЛКП – 0,87 Вт/м·К) они с разной скоростью и равномерностью нагреваются и охлаждаются в период эксплуатации автомобиля.

В холодное время года и в межсезонный период эксплуатации автомобиля за счет разности теплопроводностей стекла, кузовной стали и самого ЛКП, лобовое стекло прогревается с большей скоростью и равномерностью, в отличие от стали панели крыши. За счет разной температуры

металла панели крыши снаружи и внутри салона, в непосредственной близости от сформированных дефектов, а также примыкания более теплого лобового стекла к холодному металлу панели крыши на стадии прогрева образуются неоднородности в системе металл-электролит. Протекание анодной реакции ионизации атомов металла на неоднородной поверхности и послужило причиной образования очага коррозии в виде язвы, углубленной в толщину металла, на панели крыши.

Перспективным направлением является уточнение механизма развития повреждений ЛКП и расчет периодичностей уборочно-моечных работ с учетом климатических условий.

### Литература

1. Долгошеин В. В., Арсенькин В. П., Агеев Ю. В. Изучение устойчивости лакокрасочных покрытий к ударным нагрузкам // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1987 г. – № 6. – С. 50–53.
2. Елисаветский А. М., Елисаветская И. В., Ратников В. Н. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2001 г. – № 6. – С. 17–21.
3. Ильдараханова Ф. И., Кантеров В. Я., Елисаветская И. В. Влияние холодного климата на устойчивость лакокрасочных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1987 г. – № 4. – С. 20–26.
4. Кузьмин Н.А. Научные основы процессов изменения технического состояния автомобилей: монография / Н.А. Кузьмин, Г.В. Борисов; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2012. – 270 с.
5. Кузьмин, Н.А. Теоретические основы обеспечения работоспособности автомобилей / Н.А. Кузьмин. – М.: Форум; ИНФРА-М, 2014. – 272 с.
6. Кузьмин, Н.А. Теория эксплуатационных свойств автомобилей / Н.А. Кузьмин, В.И. Песков. – М.: Форум; ИНФРА-М, 2017. – 256 с.
7. Кузьмин, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности / Н.А. Кузьмин. – М.: Форум; ИНФРА-М, 2017. – 208 с.
8. Кустиков, А.Д. Современная диагностика автомобилей / А.Д. Кустиков, Н.А. Кузьмин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева – Н.Новгород, 2019. – 147 с.
9. Лукинский В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев. – Л.: Политехника, 1991. – 224 с.
10. Миронова Г.А., Ильдараханова Ф.И., Богословский К.Г. Современные лакокрасочные материалы для антикоррозионной защиты металлоконструкций в атмосферных условиях // Технология лакокрасочных покрытий: сборник научных трудов / Науч.-произв. об-ние «Лакокраспокрытие». – М.: Пэйнт-Медиа. – 2012. – № 4. – С. 4–20.
11. Миронова Г.А., Ильдараханова Ф.И. Лакокрасочные материалы для долговременной антикоррозионной защиты металлоконструкций в атмосферных условиях // Промышленная окраска. – 2012. – № 2. – С. 8–12.
12. Песков, В.И. Расчетные исследования эксплуатационных характеристик автомобилей: монография / В.И. Песков, Н.А. Кузьмин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2018. – 212 с.
13. Яковлева Л. А., Курмакова А. С., Савченкова В. П., Горовцева Л. В. Влияние эксплуатационных факторов на декоративные свойства лакокрасочных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1987. – № 6. – С. 38–44.
14. Peter von den Kerkhoff, Helmut Naagen. Lackschadenkatalog. Catalogue of Paint Damage Types. – Vogel Business Media, 1995. – 278 p.
15. Prokes P., Rfendova A. (2007). Anticorrosion efficiency of coatings containing metallic pigments // J. Phys. Chem. Solids. – Vol. 68. – № 5–6. – P. 1083–1086.

### References

1. Dolgoshein, V.V., Arsenicin, V.P., Ageev, Yu.V. (1987) [Study of the stability of coatings to impact load. Paintwork materials and their application]. *Lakokrasochnye materialy i ih primeneniye*. [Paint and varnish materials and their application]. Vol. 6, pp. 50-53. (In Russ.)

2. Elisavetskogo, A.M., Elisavetskogo, I.V., Ratnikov, V.N. (2001) [Protection of metals from corrosion with paint coatings]. *Lakokrasochnye materialy i ih primeneniye*. [Paintwork materials and their application]. Vol. 6, pp.17–21. (In Russ.).
3. Eldarkhanova, F.I., Cantero, V.Ya., Elisavetskogo, I.V. (1987) [Impact of cold climate on the stability of coatings]. *Lakokrasochnye materialy i ih primeneniye* [Paintwork materials and their application]. Vol. 4, pp. 20–26. (In Russ.).
4. Kuzmin, N.Ah. (2012) *Nauchnyye osnovy protsessov izmeneniya tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobiley* [Scientific bases of processes of change of technical condition of cars]. Nizhegorod. state tech. in-t named after R.E. Alekseeva. N. Novgorod, 270 p.
5. Kuzmin, N.A. (2014) *Theoretical bases of ensuring operability of cars* [The theoretical basis for ensuring the performance of cars]. Moscow: Forum; INFRA-M, 272 p.
6. Kuzmin, N.A. Peskov, V.I. (2017) *Theory of performance properties of cars*. Moscow: Forum; INFRA-M. – 256 p.
7. Kuzmin, N. A. (2017) *Technical operation of cars: regularities of change of working capacity* [Theory of operational properties of automobiles]. Moscow: Forum; INFRA-M, 208 p.
8. Kustikov, A.D., Kuzmin, N.A. (2019) *Modern diagnostics of cars* [Modern car diagnostics]. N. Novgorod: Nizhegorod. state tech. un-t named after R.E. Alekseeva, 147 p.
9. Lukinskiy, V.S. (1991) *Prognozirovaniye nadezhnosti avtomobiley* [Prediction of reliability of cars]. Leningrad: Polytechnic, 224 p.
10. Mironova, G.A., Il'darhanova, F.I., Bogoslovskij, K.G. (2012) [Modern paint and varnish materials for corrosion protection of metal structures in atmospheric conditions]. *Tekhnologiya lakokrasochnyh pokrytij: sbornik nauchnyh trudov / Nauch.-proizv. ob-nie «Lakokraspokrytie»* [Scientific-production. Obnacion “Lacquer coating”]. Vol 4, pp. 4–20. (In Russ.).
11. Mironova, G.A., Il'darhanova, F.I. (2012) [Paint and varnish materials for corrosion protection of metal structures in atmospheric conditions]. *Promyshlennaya okraska* [Industrial painting]. Vol. 2, pp. 8–12. (in Russ.).
12. Peskov, V.I. Kuzmin, N.A. (2018) *Settlement researches of operational characteristics of cars* [Computational studies of the operational characteristics of automobiles]. N. Novgorod: Nizhegorod. state tech. un-t named after R. E. Alekseeva, 212 p.
13. Yakovleva, L.A., Kurmanova, A.S., Savchenkov, V.P., Gotovtseva, L.V. (1987) [The Influence of operational factors on the decorative properties of coatings]. *Lakokrasochnye materialy i ih primeneniye* [Paint and varnish materials and their application]. Vol. 6, pp. 38–44. (In Russ.).
14. Peter von den Kerkhoff, Helmut Haagen (1995). *Lackschaden katalog*. Catalogue of Paint Damage Types. *Vogel Business Media*, 278 p.
15. Prokes, P., Rflendova, A. (2007). Anticorrosion efficiency of coatings containing metallic pigments. Vol. 68. No. 5–6, pp. 1083–1086. (In Engl.).

#### Информация об авторах:

**Димитрий Николаевич Прошин**, старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия  
e-mail: proshdn@mail.ru

**Антон Николаевич Кузьмин**, ассистент кафедры автомобильного транспорта, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия  
e-mail: kuzmin1anton@mail.ru

**Александр Дмитриевич Кустиков**, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия  
e-mail: kustikov-ad@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 07.05.2019; принята в печать 29.11.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

#### Information about the authors:

**Dimitry Nikolaevich Proshin**, Senior lecturer of the department of Road transport, Nizhny Novgorod State Technical University named after Alekseev R.E, Nizhny Novgorod, Russia  
e-mail: proshdn@mail.ru

**Anton Nikolaevich Kuzmin**, graduate student, the assistant of the department of Road transport, Nizhny Novgorod State Technical University named after Alekseev R.E, Nizhny Novgorod, Russia

e-mail: kuzminlanton@mail.ru

**Aleksander Dmitrievich Kustikov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of Road transport, Nizhny Novgorod State Technical University named after Alekseev R.E, Nizhny Novgorod, Russia

e-mail: kustikov-ad@yandex.ru

The paper was submitted: 07.05.2019.

Accepted for publication: 29.11.2019.

The authors have read and approved the final manuscript.