

# КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА АНАЛИЗА ОКРАШЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Т.П. Сысоева;**

**Ю.Н. Бельшина, кандидат технических наук, доцент;**

**М.А. Галишев, доктор технических наук, профессор.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Предлагаются количественные критерии оценки степени термического воздействия на стальные элементы кузова автомобиля, основанные на результатах, получаемых с помощью комплекса полевых методов исследования: таких как изучение магнитных характеристик, вихретоковый анализ и рентгенофлуоресцентный анализ с помощью портативного спектрометра. Предложена схема применения выбранных количественных критериев оценки степени термического воздействия на окрашенные стальные элементы кузова автомобиля для установления очаговых признаков.

*Ключевые слова:* пожары на автомобилях, полевые приборы, очаговые признаки, комплексная методика

## INTEGRATED PROCEDURE OF ANALYSIS OF PAINTED STEEL ELEMENTS OF THE CAR, BASED ON FIELD RESEARCH TECHNIQUES

T.P. Sysoeva; Yu.N. Belshina; M.A. Galishev.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The quantitative evaluation criteria of the degree of thermal effects on the steel parts of the car body, based on the results obtained through a complex of field research methods such as the study of the magnetic characteristics, eddy current analysis and X-ray fluorescence analysis using a portable spectrometer are offered in this article. The scheme of application of selected quantitative evaluation criteria of the degree of thermal effects on the painted steel parts of the car body to determine fireplace attributes is offered in the article.

*Keywords:* automobile fires, field apparatus, fireplace attributes, integrated procedure

Как показывает статистический анализ, число пожаров на автотранспорте ежегодно растет. При реконструкции развития пожаров на автотранспорте изделия из металлов и сплавов представляют собой наиболее интересные объекты вещной обстановки. Обусловлено это несколькими обстоятельствами, во-первых, именно на металлах тепловое воздействие оставляет наиболее локальные следы, что в случае таких относительно небольших объектов как автомобили (особенно легковые), очень важно. Во-вторых, металлические элементы лучше сохраняются после пожаров и, в случае, когда от автомобиля ничего кроме каркаса не остается, они представляют собой единственный источник экспертной информации о пожаре.

В основе современных методик пожарно-технической экспертизы, в том числе применяемых при исследовании пожаров на автотранспорте, лежат методы сравнительного анализа. При этом до настоящего времени не существует отработанных способов оценки

достоверности полученных при этом результатов [1–3]. При проведении количественных исследований используются различные статистические критерии оценки получаемых данных. Для возможности использования такого подхода необходимо, чтобы в основе методик пожарно-технической экспертизы лежало получение количественных критериев, определение которых было бы основано на применении ни одного, а нескольких инструментальных методов исследования. Такой подход позволит увеличить объем объективной доказательной информации при установлении очага и причины пожара.

Таким образом, разработка методик исследования металлических изделий, применяемых на автомобильном транспорте, основанных на определении количественных показателей степени термического воздействия на них, применяется с целью установления очаговых признаков.

Для решения данной задачи был выбран комплекс портативных приборов: два прибора, применяемых в экспертизе пожаров для исследования металлов, а именно коэрцитиметр КИМ-2М и многофункциональный вихретоковый прибор МВП – 2М, кроме того, для работы был выбран портативный рентгенофлуоресцентный спектрометр NITON.

Было проведено исследование двух окрашенных фрагментов стальной крышки капота. Образцы – квадраты размером 10x10 см подвергались тепловому воздействию, для чего они помещались в муфельную печь при температурах от 200 до 1000 °С, стабильность температуры в установившемся тепловом режиме составляла не более  $\pm 4$  °С.

Величина тока размагничивания относится к характеристикам, наиболее зависящим от расположения зерен в структуре металла [2]. Регрессионный анализ полученных значений силы тока размагничивания показал, что зависимость ее величины от температуры имеет линейный вид. Для возможности использования полученных данных в разрабатываемой комплексной методике значения токов размагничивания были нормированы по максимальному значению  $I_p$ , и была построена зависимость температуры от величины тока размагничивания (рис. 1, 2).

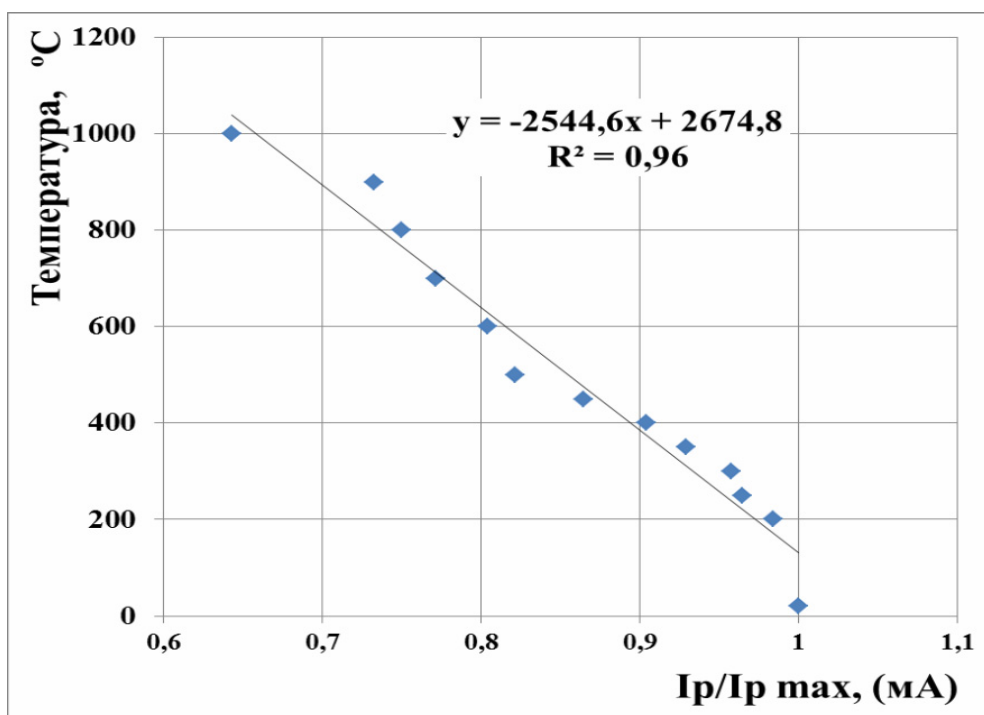


Рис. 1. Зависимость температуры нагрева от нормированной по максимальному значению величины тока размагничивания для образца № 1

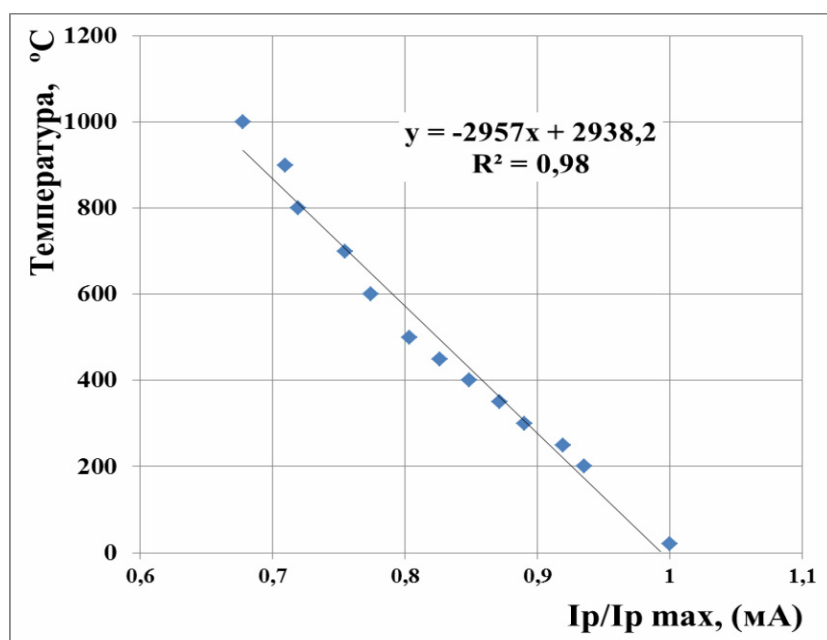


Рис. 2. Зависимость температуры нагрева от нормированной по максимальному значению величины тока размагничивания для образца № 2

Эти же образцы были исследованы методом вихретокового анализа. Во всем рассматриваемом диапазоне температур от 25 до 1000 °C зависимость электродвижущей силы (ЭДС) от температуры имеет вид полинома второй степени. Поскольку изменение величины ЭДС стальных образцов, фиксируемое данным методом, связано с ростом слоя окалины, то естественно, что до температуры 600 °C никаких существенных изменений не наблюдается. Зависимость величины ЭДС стальных образцов от температуры при нагреве 600–1000 °C линейная, при этом достоверность аппроксимации  $R^2$  составляет 0,97 (рис. 3, 4). Для возможности использования полученных данных в разрабатываемой методике значения ЭДС, как и в случае применения магнитного метода, были нормированы по максимальному значению, и была построена зависимость температуры от ЭДС стальных образцов.

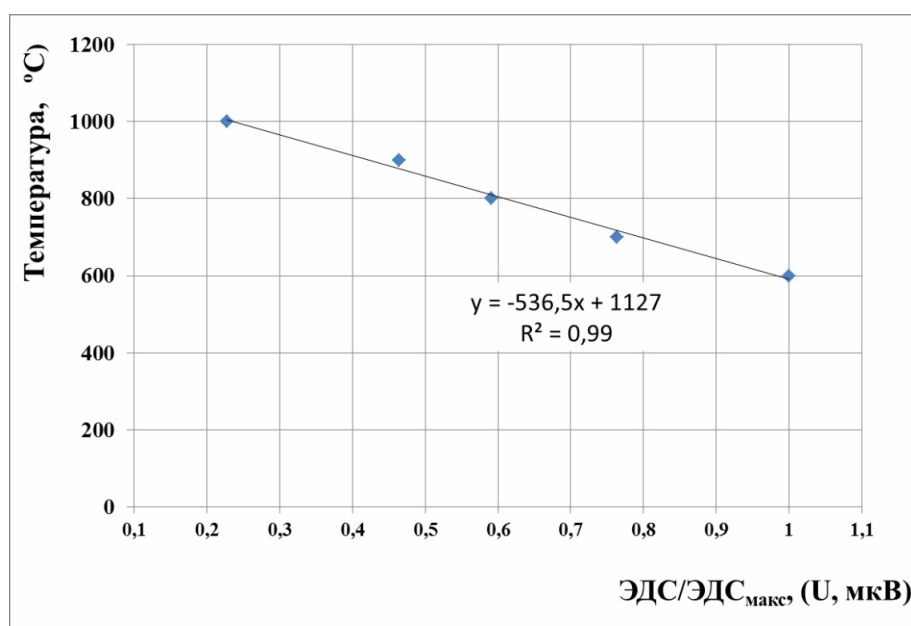


Рис. 3. Зависимость температуры нагрева от нормированной по максимальному значению величины ЭДС для образца № 1

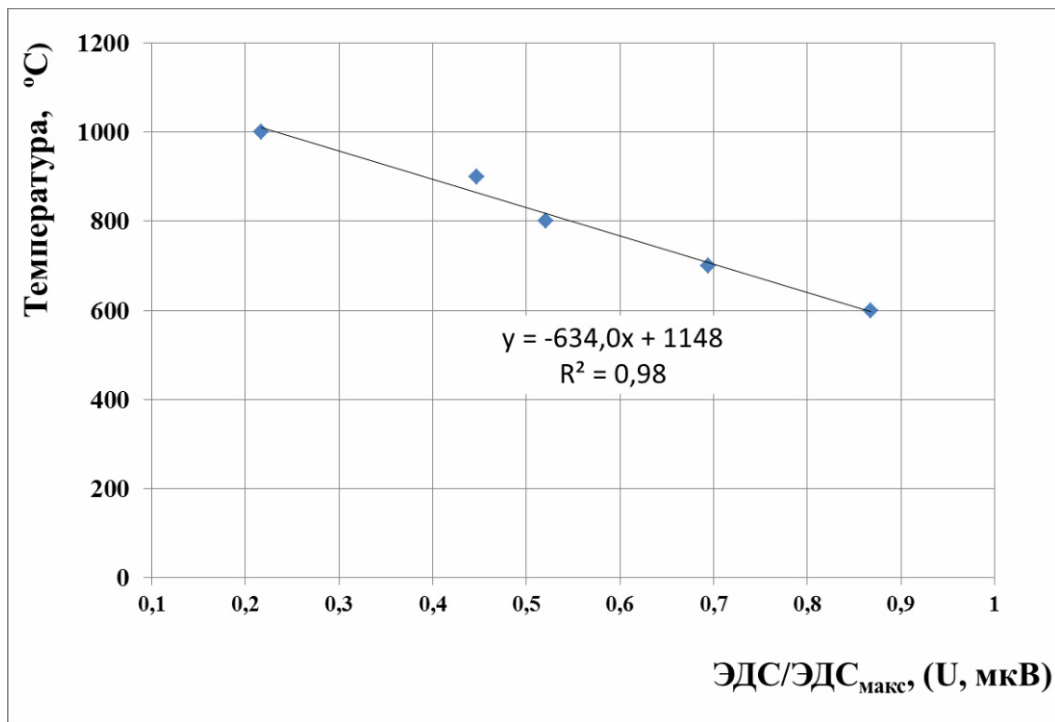


Рис. 4. Зависимость температуры нагрева от нормированной по максимальному значению величины ЭДС для образца № 2

По полученным данным были предложены расчетные критерии  $T_m$  и  $T_3$ , которые позволяют количественно оценить степень термического воздействия на материал:

$$T_m = 2700 - 2600 \cdot \frac{I_p}{I_{pmax}} ;$$

$$T_3 = 1200 - 600 \cdot \frac{\text{ЭДС}_{\square}}{\text{ЭДС}_{\text{max} \square}} .$$

Получаемые по этим уравнениям значения температур близки к реальным. Получаемые расчетные значения  $T_m$  и  $T_3$  могут быть нанесены на схему точек проведенных замеров и по ним могут быть построены поля температурного воздействия на стальной элемент автомобиля.

Известно, что для повышения достоверности получаемых результатов необходимо использовать сочетание методов, позволяющих как можно шире взглянуть на изменения, протекающие в материалах. Поэтому, следующим этапом работы стало изучение изменения элементного состава поверхности образцов.

Результаты определения количественного содержания элементов на поверхности фрагментов стальных капотов автомобиля показали, что при увеличении температуры происходит снижение содержания в образце неопределяемых элементов и бария, увеличение содержания титана и железа. Следует отметить, что элементы, не определяемые прибором, объединяются и определяются в совокупности, обозначаясь в таблице символом Val.

Для оценки температуры нагрева образца в температурном диапазоне 100–400 °C может быть использовано отношение между разницей максимального и полученного значений содержания неопределяемых компонентов и максимальным значением содержания неопределяемых компонентов  $Val_{max}$ :

$$B = \frac{Bal_{max} - Bal_{\square}}{Bal_{max \square}} .$$

Зависимость полученного значения В от температуры имеет для обоих образцов линейный вид и характеризуется значениями достоверности аппроксимации 0,95–0,96 (рис. 5, 6).

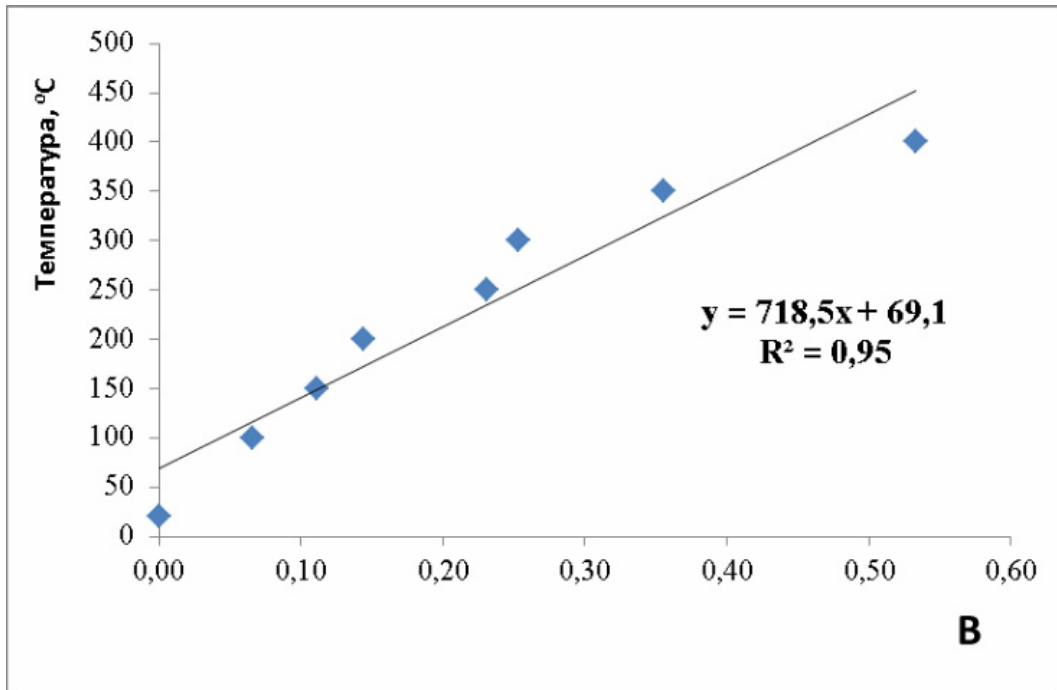


Рис. 5. Зависимость значения В от температуры нагрева образца № 1

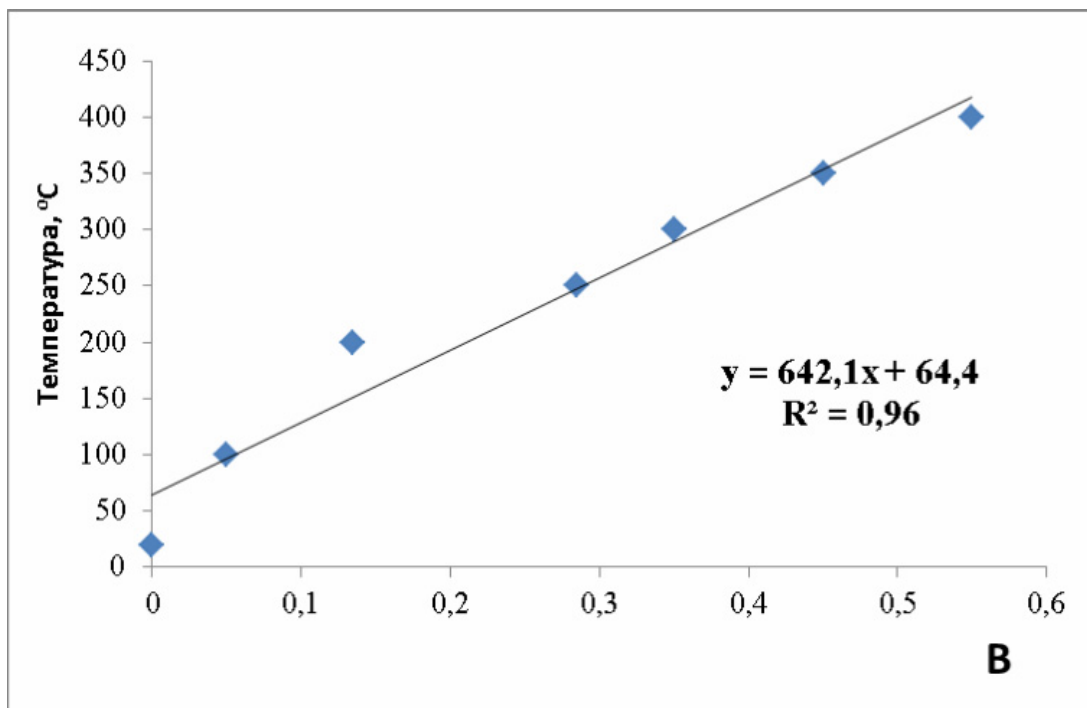


Рис. 6. Зависимость значения В от температуры нагрева образца № 2

Количественно оценить по данному показателю температуру нагрева образцов можно по уравнению:

$$T_b = 700 \cdot B + 50$$

Данное уравнение может применяться в диапазоне температур 100–400 °С. Получаемые по данному уравнению значения близки к реальным температурам нагрева образцов, как видно из табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета  $T_b$  по сравнению с экспериментальными температурами их нагрева

| Температура нагрева образцов, °С | $T_b$ для образца № 1 | $T_b$ для образца № 2 |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 20                               | 50                    | 50                    |
| 100                              | 109                   | 85                    |
| 200                              | 150                   | 170                   |
| 250                              | 205                   | 250                   |
| 300                              | 278                   | 295                   |
| 350                              | 328                   | 365                   |
| 400                              | 385                   | 400                   |

Полученные результаты показали, что при использовании рассмотренных в работе полевых методов исследования стальных конструкций автотранспортных средств можно четко дифференцировать зоны разной степени термического воздействия.

Сочетание данных методов позволит повысить информативность и достоверность исследования зон термических поражений на конструкциях из стали при расследовании пожаров на автотранспорте. Поэтому, следующим этапом работы стало изучение возможности создания комплексной методики.

Создание комплексной методики, сочетающей в себе применение всех рассмотренных выше методов, было основано на создании соответствующих многофакторных линейных регрессионных моделей.

Проведенный регрессионный анализ позволяет сделать вывод, что в единую схему определения зон температурного воздействия могут быть включены все рассмотренные в работе полевые методы исследования стальных конструкций автомобилей, однако вклад каждого из них будет определяться типом и характеристиками объекта исследования.

Для всех рассмотренных в работе объектов исследования уравнения, объединяющие значения нормированной по максимальному значению величины силы тока размагничивания, нормированной по максимальному значению величины ЭДС поверхности образца и параметра  $B$ , имеют линейный вид, все полученные регрессионные модели адекватны, однако при разных сочетаниях методов те или иные данные могут быть незначимыми. Полученные коэффициенты уравнений множественной линейной регрессии  $a_i$ , полученных при использовании результатов полевых методов, в разном сочетании представлены в табл. 2.

Проведенный анализ показал, что выбрать регрессионную модель, позволяющую сочетать все рассмотренные методы трудно, часть данных при этом теряет свою значимость. В качестве численного критерия, позволяющего приблизительно оценить степень нагрева материала, можно использовать значения  $T_{p3}$ , рассчитываемые по уравнению:

$$T_{p3} = 2500 - 2000 \cdot (I_p / I_{p \max}) - 250 \cdot (\text{ЭДС} / \text{ЭДС}_{\max}) - 200 \cdot B$$

при совместном использовании всех трех рассмотренных в работе полевых методов и  $T_{p2} = 250 - 300 \cdot (\text{ЭДС} / \text{ЭДС}_{\max}) - 900 \cdot B$ . При использовании прибора вихретокового анализа и портативного РФА спектрометра. К плюсам последнего уравнения можно отнести то, что оно может использоваться в диапазоне 200–1000 °С, в то время как применение только РФА ограничено диапазоном до 500 °С, а применение вихретокового анализа возможно в диапазоне нагрева конструкций 600–1000 °С. Кроме того, в данном случае нет необходимости зачищать поверхность от остатков лакокрасочного покрытия (ЛКП).

Таблица 2. Коэффициенты уравнений множественной линейной регрессии, построенные по результатам, полученным с помощью полевых методов

| Сочетаемые полевые методы          | $a_0$       |             | $a_i$ при значениях |             |                                  |             |             |             |
|------------------------------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                    |             |             | $I_p / I_{p \max}$  |             | $\text{ЭДС} / \text{ЭДС}_{\max}$ |             | B           |             |
|                                    | Образец № 1 | Образец № 2 | Образец № 1         | Образец № 2 | Образец № 1                      | Образец № 2 | Образец № 1 | Образец № 2 |
| Все три полевые метода             | 1697        | 2681        | -1479               | -2484       | -266                             | -209        | 382         | 52          |
| Коэрцитиметр и вихретоковый анализ | 2725        | 2829        | -2570               | -2630       | -60                              | -211        | –           | –           |
| РФА и коэрцитиметр                 | 2544        | 2159        | -2437               | -2174       | –                                | –           | 52          | 271         |
| РФА и вихретоковый анализ          | 314         | 194         | –                   | –           | -534                             | -198        | 871         | 917         |

РФА – рентгенофлуоресцентный анализ

Полученные по данному уравнению численные значения  $T_{p2}$  или  $T_{p3}$  наносятся на схему точек проведения замеров величин  $I_p$ , ЭДС и Val, по полученным данным с помощью любого программного пакета, позволяющего проводить графические построения, строятся зоны температурного воздействия на конструкцию. По полученным замерам могут быть рассчитаны критерии  $T_a$ ,  $T_m$ ,  $T_b$ . Полученные данные могут дополнять картину температурного воздействия на стальные конструкции в случае получения спорных данных. Расчет всех предлагаемых в работе критериев может выполняться по мере фиксации результатов измерения в компьютере с помощью программ обработки табличных данных.

Для выявления зон различного нагрева можно предложить следующую схему анализа, объединяющую различные полевые методы исследования, с целью установления очага пожара на автомобиле (рис. 7). Полученная схема была опробована при исследовании пожара автомобиля «Пежо Partner», 2009 г. выпуска. Таким образом, была подтверждена эффективность разработанной схемы применения количественных критериев для оценки степени термического воздействия на окрашенные стальные элементы кузова автомобиля для установления очаговых признаков.

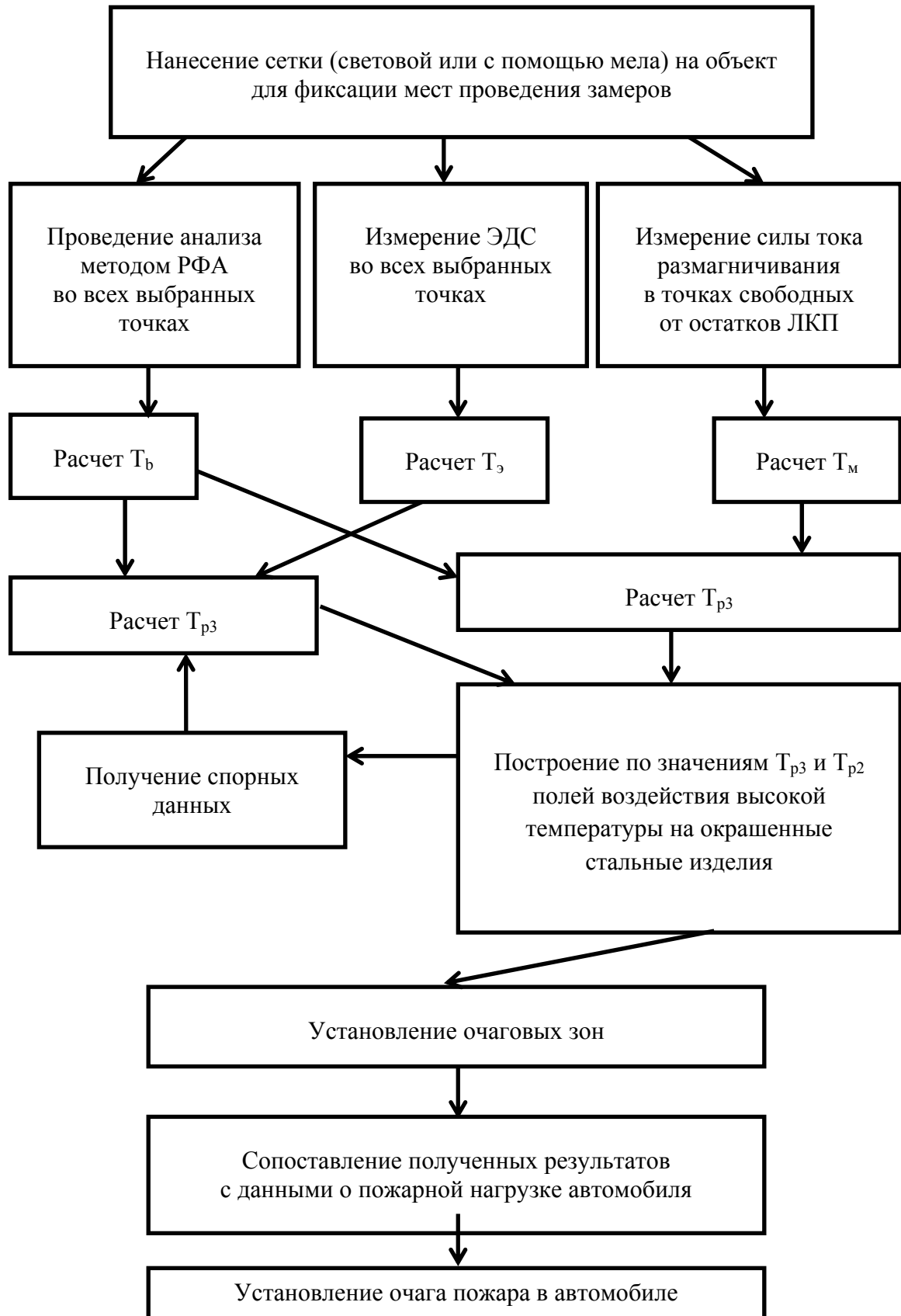


Рис. 7. Схема установления очага пожара на автомобиле



### **Литература**

1. Чешко И.Д., Соколова А.Н. Выявление очаговых признаков и путей распространения горения методом исследования слоев копоти на месте пожара: метод. рекомендации. М.: ВНИИПО, 2008. 49 с.
2. Чешко И.Д., Соколова А.Н., Елисеев Ю.Н. Способ выявления скрытых очаговых признаков пожара: пат. № RU2329077 С2 Рос. Федерации; опубл. 20.07.2008, бюл. № 20.
3. Шульгин С.О. Полевые экспресс-методы исследования стальных конструкций и предметов при установлении очага пожара: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: С.-Петерб. ун-т МВД России, 1999. 22 с.