

*И.А. Лобаев, В.В. Плешаков, Д.А. Вечтомов, Д.Ю. Григорьев*  
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: odgpn@yandex.ru)

## **ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЦИНКА НА ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТОВ ИЗ ОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

*Проведено исследование степени теплового повреждения листов из оцинкованной стали для установления очага и путей распространения пожара.*

*Ключевые слова: температурный режим, концентрация, оцинкованный лист.*

*I.A. Lobaev, V.V. Pleshakov, D.A. Vechtomov, D.U. Grigoryev*

## **CHANGES IN THE CONCENTRATION OF ZINC ON THE SURFACE OF GALVANIZED STEEL SHEETS DURING THERMAL ACTION**

*Research of the degree of thermal damage of galvanized steel sheets to establish hearth and ways of spread of fire.*

*Key words: temperature conditions, concentration, galvanized sheet.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 28 октября 2014 г.

Процесс установления места возникновения пожара – очага пожара – является ключевым при исследовании пожаров и правильной квалификации происшествий, связанных с ними. Практически поиск очага пожара осуществляется путём сравнения степени термического повреждения предметов на месте пожара. Как известно [1, 2, 6], степень термического повреждения материала является функцией температуры и времени её воздействия на материал. Именно наибольшая длительность горения является признаком очага пожара. В связи с этим становится целесообразным исследование как минимум двух характеристик материалов – двух критериев оценки степени термического повреждения.

Разработке методов и методик установления очага пожара, а также методам исследования веществ, материалов и изделий при расследовании и экспертизе пожаров посвятили работы следующие авторы: Мегорский А.В., Чешко И.Д., Зернов С.И., Овчинников А.А. и др. Однако, критерии оценки степени термического повреждения стальных оцинкованных листов в настоящее время проработаны недостаточно [1-4, 6]. Кроме того, развитие технологии строительства и инструментальных методов исследования требуют разработки новых критериев оценки степени термического повреждения материалов.

Стальные оцинкованные листы нашли широкое применение в современном строительстве как для промышленных, так и для гражданских зданий. Детали, изготовленные из этого материала, применяются в ограждающих, несущих конструкциях, корпусах автомобилей и бытовой техники, что определяет большую площадь покрытия оцинкованными листами объекта. Широко известные методики исследования стальных элементов не дают информации

о процессах, происходящих с конструкциями, изготовленными из стального оцинкованного листа, во время пожара. Для создания экспертных методик исследования конструкций, изготовленных из такого материала, необходимо выявить критерии оценки степени теплового повреждения металлических конструкций, изготовленных из оцинкованной стали.

В статье описаны результаты исследования стальных листов, изготовленных из оцинкованной стали, на предмет изменения концентрации цинка при термическом воздействии. Дополнительно проведено исследование изменения фактической толщины листа. Результаты исследований сопоставлены между собой.

Исследуемые листы изготавливаются из оцинкованной стали. Такая сталь выпускается по ГОСТ 14918-80 "Сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий. Технические условия". Согласно данному стандарту, в зависимости от толщины покрытия оцинкованная сталь делится на три класса в соответствии с указанными в табл. 1 параметрами.

Таблица 1

**Классы оцинкованной стали по ГОСТ 14918-80**

№ п/п	Класс толщины	Масса $1 \text{ м}^2$ слоя покрытия, нанесенного с двух сторон, г	Толщина покрытия, мкм
1	П (повышенный)	Св. 570 до 855 включ.	Св. 40 до 60 включ.
2	1	Св. 258 до 570 включ.	Св. 18 до 40 включ.
3	2	От 142,5 до 258 включ.	От 10 до 18 включ.

При изготовлении стали с дифференцированным покрытием толщина его на одной стороне листа должна соответствовать 2-му классу, а на другой стороне – классу П (для листов) или классу 1.

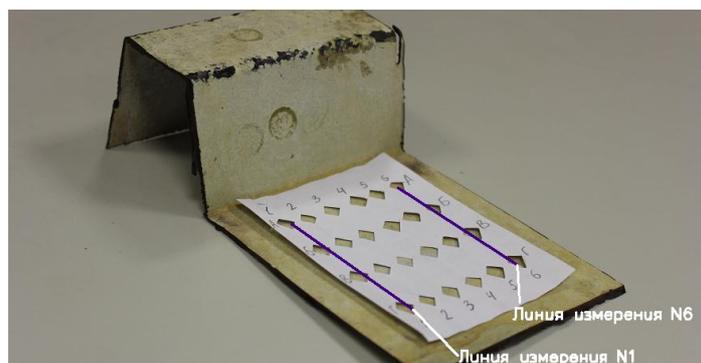
Для достижения целей исследования необходимо было определить распределение концентрации цинка по поверхностям образца.

#### **Выбор параметров измерения**

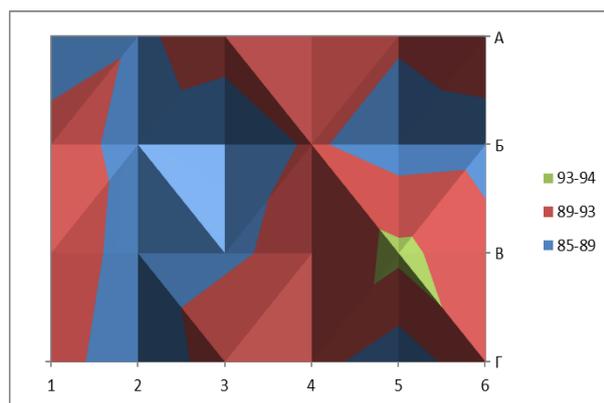
Измерение концентрации проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа на приборе СУР-02 "Реном", производства ЗАО "НТЦ Эксперт-центр" г. Москва.

Для исследования были взяты образцы формой, представленной на рис. 1. Для измерения концентрации цинка на поверхности образца размещался шаблон; размеры шаблона составили  $100 \times 60 \text{ мм}$ , расстояние между точками измерения по линиям "N1" и "N6" составляет  $10 \text{ мм}$ .

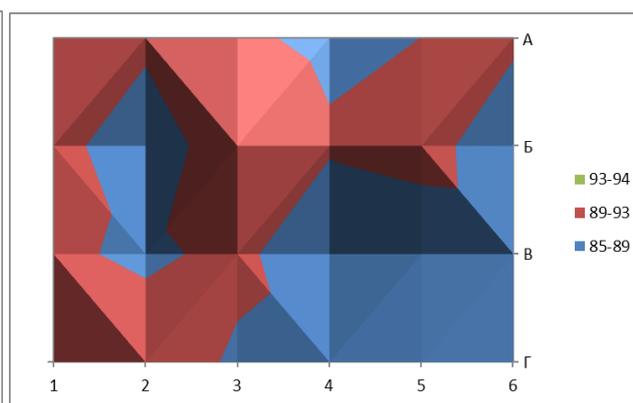
Образцы подвергались воздействию температуры  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  (температура плавления цинка) в течение  $\tau = 5 \text{ мин}$  и  $\tau = 15 \text{ мин}$ . После теплового воздействия измерялась концентрация цинка как на внешней, так и на внутренней поверхности образца по шаблону. После чего вычислялось среднее значение концентраций цинка на внешней и внутренней сторонах образцов. Результаты представлены в виде графиков (рис. 2, 3).



**Рис. 1.** Объект исследования с расположенным на нем шаблоном для измерения



**Рис. 2.** Распределение средней величины концентрации цинка (%) на поверхностях образца. Время выдержки образца при температуре  $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 5\text{ мин}$



**Рис. 3.** Распределение средней величины концентрации цинка (%) на поверхностях образца. Время выдержки образца при температуре  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 15\text{ мин}$

Образцы, выдержанные разное время, сравнивались по следующим параметрам: максимальное абсолютное изменение концентрации по площади и наличие эффекта монотонности, под которым понимается равномерное возрастание (убывание) концентрации цинка по длине образца. Результаты сравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Характер распределения средней концентрации цинка по поверхности образца**

Температура выдержки, $^{\circ}\text{C}$	Время выдержки, мин	Сторона образца	Максимальное абсолютное изменение концентрации по площади, %	Наличие эффекта монотонности
400	5	Внутренняя	2	Нет
		Внешняя	16	Нет
		Сумма	8	Нет
400	15	Внутренняя	4,4	Есть
		Внешняя	14	Есть
		Сумма	7	Нет

Результаты исследования сравнивались с изменением фактической толщины образца. Для измерения толщины с точностью, необходимой для исследования режима теплового воздействия, применён микрометр

M-0-25-0,01. Особенности конструкции прибора не позволяют проводить измерения на удалении более 2,5 см от края образца. Исходя из этого в дальнейшем исследовалось распределение концентрации по линиям "N1" и "N6" (рис. 1).

Средняя концентрация цинка между линиями "N1" и "N6", вычислялась по зависимости (1) для каждого образца:

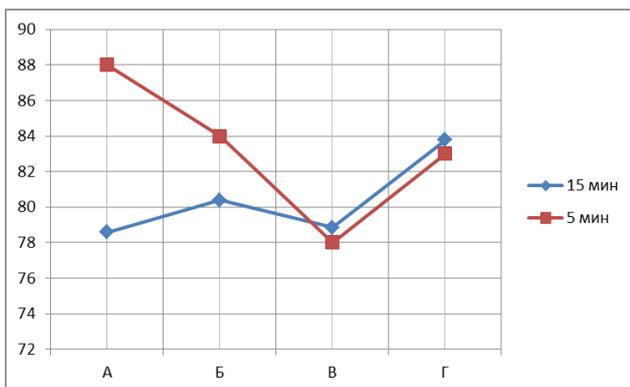
$$\bar{\varphi}_{Zn1-6} = \frac{\bar{\varphi}_{Zn1} + \bar{\varphi}_{Zn6}}{2}, \quad (1)$$

где  $\bar{\varphi}_{Zn1-6}$  – средняя (между значениями по линии "N1" и "N6") концентрация цинка для образца, %;

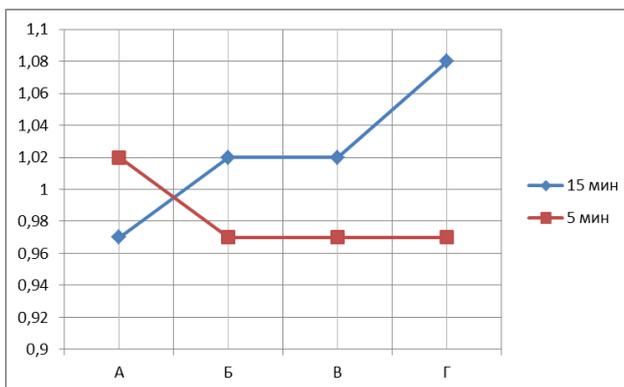
$\bar{\varphi}_{Zn1}$  – средняя концентрация цинка между внешней и внутренней сторонами образца в точке измерения на линии "N1", %;

$\bar{\varphi}_{Zn6}$  – средняя концентрация цинка между внешней и внутренней сторонами образца в точке измерения на линии "N6", %.

Результаты вычислений представлены на рис. 4 и 5.



**Рис. 4.** Распределение средней (между линиями "N1" и "N6") концентрации цинка (%) на поверхностях образцов, выдержанных  $\tau = 5$  и 15 минут при температуре  $400^\circ\text{C}$ , вычисленной по (1)



**Рис. 5.** Распределение средней (между линиями "N1" и "N6") толщины (мм) образцов, выдержанных  $\tau = 5$  мин и  $\tau = 15$  мин при температуре  $400^\circ\text{C}$ , вычисленной по (2)

Результаты, приведённые на рис. 4 показывают, что при увеличении времени воздействия температуры  $T = 400^\circ\text{C}$  от  $\tau = 5$  мин до  $\tau = 15$  мин концентрация цинка на образце выравнивается (рис. 4).

Для сравнения в точках измерения концентрации по линиям "N1" и "N6" была измерена фактическая толщина образцов.

Аналогично зависимости (1), вычислена средняя толщина образца между линиями "N1" и "N6":

$$\bar{\delta}_{1-6} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}, \quad (2)$$

где  $\bar{\delta}_{1-6}$  – средняя (между значениями по линиям "N1" и "N6") толщина образца, мм;

$\delta_1$  – толщина образца в точке измерения на линии "N1", мм;

$\delta_2$  – толщина образца в точке измерения на линии "N6", мм.

Поскольку диапазоны изменений концентрации (%) и толщины материала (мм) различны, то для оценки влияния распределения средней концентрации цинка по поверхностям образца на толщину введём понятие **приведённой концентрации**, под которой будем понимать концентрацию материала (%), максимальный диапазон изменений которой равен максимальному диапазону изменений толщины объекта на исследуемом участке. В таком определении приведённая концентрация определяется по зависимости (3):

$$\varphi_{\text{прив.}} = \delta_{1-6}^{\min} + \left( \varphi_{Zn1-6}^i - \varphi_{Zn1-6}^{\min} \right) \cdot \frac{\Delta \bar{\varphi}_{Zn1-6}}{\Delta \bar{\delta}_{1-6}}, \quad (3)$$

$$\Delta \bar{\delta}_{1-6} = \bar{\delta}_{1-6}^{\max} - \bar{\delta}_{1-6}^{\min}, \quad (4)$$

$$\Delta \bar{\varphi}_{Zn1-6} = \bar{\varphi}_{Zn1-6}^{\max} - \bar{\varphi}_{Zn1-6}^{\min}, \quad (5)$$

где  $\varphi_{\text{прив.}}$  – приведённая величина концентрации;

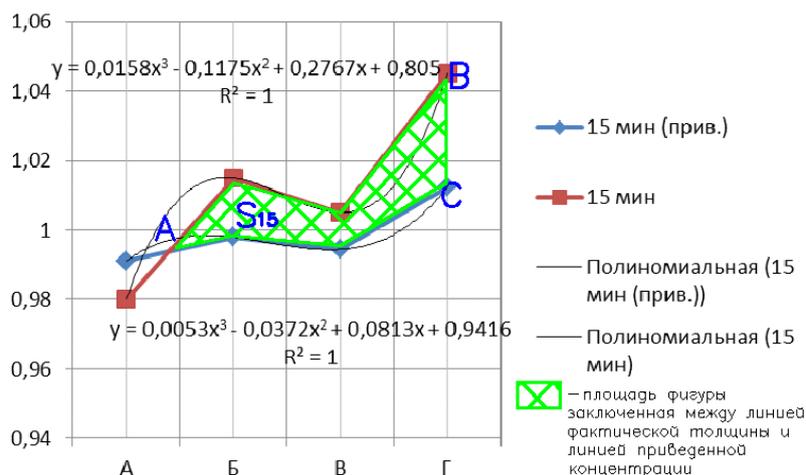
$\delta_{1-6}^{\min}$  – минимальное значение фактической толщины образца в ряду значений, определённых по (2), мм;

$\bar{\delta}_{1-6}^{\max}$  – максимальное значение фактической толщины образца в ряду значений, определённых по (2), мм;

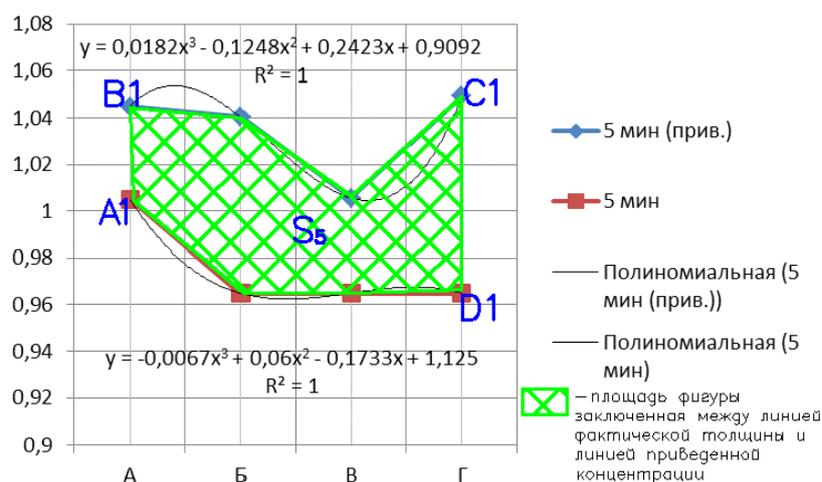
$\bar{\delta}_{1-6}^{\min}$  – минимальное значение концентрации цинка на поверхностях образца в ряду значений, определённых по (1), мм;

$\bar{\varphi}_{Zn1-6}^{\max}$  – максимальное значение концентрации цинка на поверхностях образца в ряду значений, определённых по (1), мм.

Расчёт приведённой концентрации (3) позволяет построить графики распределения толщины (мм) и приведённой концентрации (мм) по длине образца в осях А-Г в координатной плоскости, ограниченной одинаковыми значениями. Такие зависимости с уравнениями приведены на рис. 6, 7.



**Рис. 6.** Распределение толщины (2) и приведённой концентрации (3) по длине образцов (А-Г), выдержанных 15 мин при температуре  $T = 400$  °С;  $S_{15}$  – площадь, заключенная между линией фактической толщины и приведенной концентрации (А, В, С)



**Рис. 7.** Распределение толщины (2) и приведённой концентрации (3) по длине образцов, выдержанных 5 мин при температуре 400 °C;  $S_5$  – площадь заключенная между линией фактической толщины и приведенной концентрации (A1, B1, C1, D1)

Для использования полученных результатов произвели построение полинома Лагранжа 3-й степени с использованием встроенных инструментов программы Microsoft Excel.

Результаты, приведённые на рис. 6, 7, позволяют сделать вывод о том, что с увеличением длительности теплового воздействия при постоянной температуре площадь фигуры, заключенной между линией, описывающей распределение толщины образца по его длине, и линией, описывающей распределение приведённой концентрации на той же длине, сокращается пропорционально длительности теплового воздействия. Учитывая то, что точки измерений расположены с интервалом 1 см друг от друга, площадь фигуры, заключённой между данными линиями, для образца, выдержанного при температуре 400 °C в течение 5 и 15 мин, вычислено:

$$S = \int_{x_1}^{x_2} y \, dx, \quad (6)$$

где  $y$  – полиномиальная функция;

$x_1, x_2$  – начальная и конечная координаты точек измерений.

Полученные результаты позволяют ввести понятие коэффициента отношения рассмотренных площадей. Численно данный коэффициент равен:

$$K = \frac{S_5}{S_{15}} = \frac{1,9 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 3,8. \quad (7)$$

Коэффициент  $K$  показывает, во сколько раз сократится площадь фигуры, заключённой между линией зависимости фактической толщины образца по длине образца и линией зависимости приведённой толщины образца по длине образца, выдержанного при температуре  $T = 400$  °C, при увеличении времени выдержки. В данном случае, при увеличении длительности теплового воздействия с 5 до 15 мин (в 3 раза) коэффициент  $K$  (7) увеличился в 3,8 раз. При дальнейшем увеличении времени теплового воздействия можно прогнозировать рост данного коэффициента.

Проведённые исследования позволили сделать ряд **выводов**.

1. При температуре  $T = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ , близкой к температуре плавления цинка ( $419,58 \text{ }^\circ\text{C}$ ) происходит перераспределение слоя цинка по поверхности, что фиксируется приборами рентгенофлуоресцентного анализа (рис. 1, 2).

2. Наиболее равномерное распределение концентрации наблюдается при увеличении времени теплового воздействия (рис. 4).

Степень равномерности распределения концентрации цинка по поверхности стального листа может быть использована для оценки длительности теплового воздействия при постоянной температуре.

3. Для применения совместно с данными по толщине оцинкованного листа может быть использовано значение приведённой концентрации цинка на поверхности стального листа, которое представляет собой концентрацию материала, максимальный диапазон изменений которой равен максимальному диапазону изменений толщины объекта на исследуемом участке. Расчёт приведённой концентрации позволяет сопоставить характер изменений фактической толщины и концентрации цинка на поверхности листа.

4. С увеличением длительности теплового воздействия характер изменений приведённой концентрации приближается к характеру изменений толщины образца, хотя изначально, а также при относительно непродолжительном тепловом воздействии на образец ( $\tau = 5 \text{ мин}$ ) такой корреляции не наблюдается (рис. 6, 7).

5. Площадь фигуры, заключённой между линией зависимости толщины образца по его длине и линией зависимости приведённой концентрации образца по его длине, выдержанного при температуре  $T = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ , уменьшается пропорционально длительности теплового воздействия (рис. 6, 7). Это может быть выражено в виде коэффициента отношения площадей фигур, образованных рассмотренными линиями (3), – коэффициента поверхности.

### Литература

1. **Методология** судебной пожарно-технической экспертизы (основные принципы). Документ подготовлен Департаментом надзорной деятельности МЧС России (Воронов С.П., Попов А.В.) и Исследовательским центром экспертизы пожаров ВНИИПО МЧС России (Чешко И.Д., Антонов А.О., Кондратьев С.А.).

2. **Применение** инструментальных методов и технических средств в экспертизе пожаров: сборник методических рекомендаций. Исследовательский центр экспертизы пожаров ФПС. С.-Пб. филиал ВНИИПО МЧС России, 2008.

3. **Чешко И.Д., Плотников В.Г.** Анализ экспертных версий возникновения пожара. С.-Пб. филиал ВНИИПО МЧС России. Кн. 1. 2010. 708 с.

4. **Чешко И.Д., Плотников В.Г.** Анализ экспертных версий возникновения пожара. С.-Пб. филиал ВНИИПО МЧС России. Кн. 2. 2012. 364 с.

5. **Материаловедение.** Технология конструкционных материалов / Под ред. В.С. Чередниченко. М.: изд-во "Омега-Л", 2007. 752 с.

6. **Зернов С.И.** Основные положения пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2008.

7. **Единицы** измерений и соотношения между ними: пер. с англ. М.: изд-во АСТ, изд-во "Астрель", 2004. 255 с.

8. **Богатищев А.И., Зернов С.Ю., Карнов С.Ю.** Методы решения задач пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009.