

УДК 614.84

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.62.87.004

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ ИНТУМЕСЦЕНТНОГО ТИПА ДЛЯ УСЛОВИЙ УГЛЕВОДОРОДНОГО ГОРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СОСТАВОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИМИ КОМПОНЕНТАМИ

*Головина Е.В., к.т.н.; Беззапонная О.В., к.т.н., доцент;  
Контбойцева М.Г., к.пед.н., доцент; Акулов А.Ю., к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России*

### **Аннотация.**

В статье приведено исследование термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для условий углеводородного горения методом синхронного термического анализа. Показаны результаты исследования для состава на основе силиконового связующего и составов, модифицированных кремнийсодержащими компонентами – волластонитом и алюмосиликатными микросферами. Далее, данные сравнивались с показателями, полученными при огневых испытаниях на определение огнезащитной эффективности в установке для испытаний на огнезащитную эффективность средств огнезащиты. Исследование показало, что огнезащитные композиции, показавшие наилучший результат при испытаниях на огнезащитную эффективность, также обладают более высокой степенью термостойкости, что говорит о возможности использования предложенной методики в качестве средства оценки «работоспособности» огнезащитных материалов интумесцентного типа.

**Ключевые слова:** огнезащитный состав интумесцентного типа, термостойкость, огнезащитная эффективность, синхронный термический анализ, углеводородное горение.

## APPLICATION OF THE METHOD FOR EVALUATING THE HEAT RESISTANCE OF INTUMESCENT FLAME RETARDANTS FOR HYDROCARBON COMBUSTION CONDITIONS ON THE EXAMPLE OF COMPOSITIONS MODIFIED WITH SILICON-CONTAINING COMPONENTS

*Golovina E.V., Ph.D. of Engineering Sciences; Bezzaponnaya O.V., Ph.D. of Engineering Sciences, Docent;  
Kontbojceva M. G., Ph.D. of Pedagogic Sciences, Docent; Akulov A. Yu., Ph.D. of Engineering Sciences, Docent  
FSBEE HE Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia*

### **Abstract.**

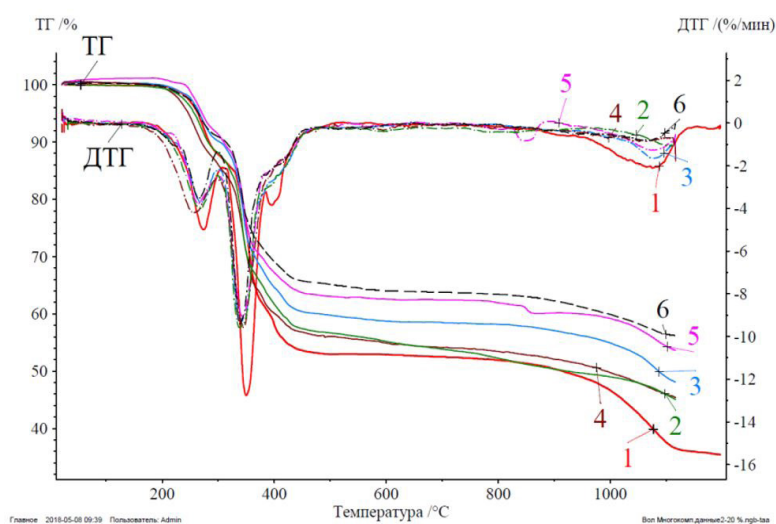
The article presents a study of the heat resistance of intumescent flame retardants for hydrocarbon combustion conditions by synchronous thermal analysis. The results of the study are shown for a composition based on a silicone binder and compositions modified with silicon-containing components – wollastonite and aluminosilicate microspheres. Further, the data were compared with the indicators obtained during fire tests to determine the fire-retardant effectiveness in the installation for testing the fire-retardant effectiveness of fire protection equipment. The study showed that the fire-resistant compositions that showed the best result in tests for fire-resistant effectiveness also have a higher degree of heat resistance, which indicates the possibility of using the proposed method as a means of evaluating the “productivity” of fire-resistant materials of the intumescent type.

**Key Words:** intumescent type fire retardant, heat resistance, fire-retardant efficiency, synchronous thermal analysis, hydrocarbon combustion.

Проблема пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса на сегодняшний день остается весьма актуальной и востребованной. Для снижения факторов пожарной опасности объектов нефтегазоперерабатывающей отрасли предусматривается целый комплекс мероприятий, направленных на снижение риска возникновения пожара, реализуемых с помощью применения специальных материалов и нанесения эффективных огнезащитных составов [1]. Среди применяемых средств огнезащиты особое место занимают интумесцентные (вспучивающиеся) составы, особенностью которых является образование теплоизолирующего слоя на поверхности конструкции при воздействии высоких температур [2]. На данный момент авторами предложена методика оценки термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа методом синхронного термического анализа для условий углеводородного горения [3-5].

Рассмотрим предложенный способ оценки термостойкости на примере огнезащитного интумесцентного состава на основе силиконового связующего (далее – исходный ОЗС) и композиций на основе того же огнезащитного состава (далее – ОЗС), модифицированных кремнийсодержащими наполнителями – волластонитом ( $\text{CaSiO}_3$ ) и алюмосиликатными микросферами (далее – АСМ).

Термограммы, полученные при исследовании образцов методом синхронного термического анализа анализируемого огнезащитного материала в зависимости от введения минеральных наполнителей в разных пропорциях, представлены на рисунках 1-4).



1 – ДТГ кривая термолитиза исходного ОЗС; 3 – ОЗС + 5 %  $\text{CaSiO}_3$ ; 5 – ОЗС + 10 %  $\text{CaSiO}_3$ ;  
 2 – ОЗС + 2 %  $\text{CaSiO}_3$ ; 4 – ОЗС + 7 %  $\text{CaSiO}_3$ ; 6 – ОЗС + 20 %  $\text{CaSiO}_3$ .

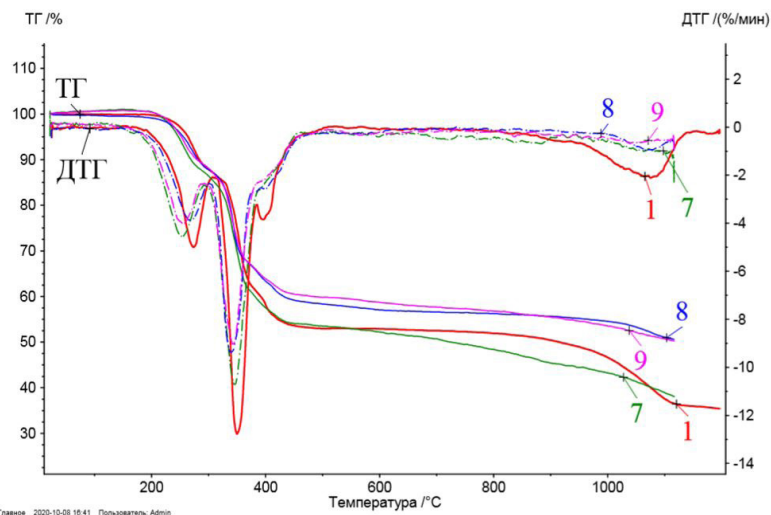
Рис. 1. Термограммы ТГ и ДТГ анализа ОЗС с добавками волластонита

В результате обработки полученных данных методом СТА (таблицы 1-2), можно сделать вывод о том, что композиция, модифицированная волластонитом в процентном соотношении 5 % продемонстрировали наибольшую термостойкость с позиции термического анализа. Среди составов, модифицированных АСМ, наилучший результат показала композиция с добавкой 5 %.

Таблица 1. Оценка термостойкости ОЗС с добавками волластонита\*

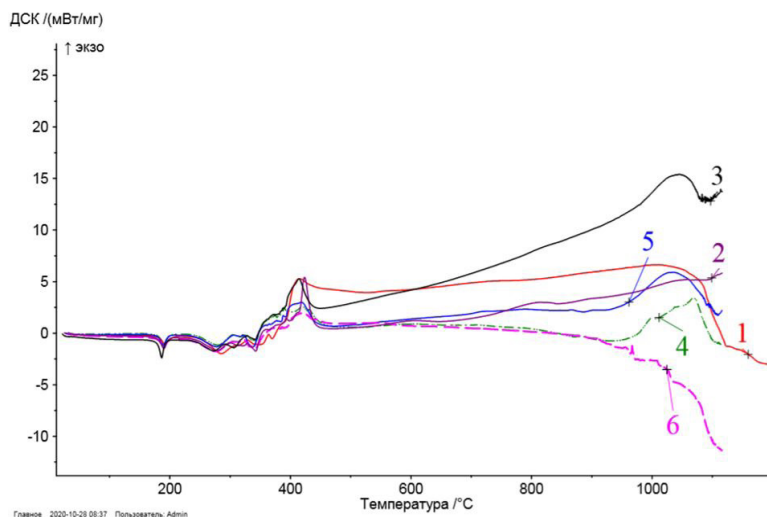
	ОЗС №1	ОЗС №2	ОЗС №3	ОЗС №4	ОЗС №5	ОЗС №6
$\text{ЗО}^{1100}$ , %	38,62 (3)	45,93 (2)	50,07(1)	45,99 (2)	51,35 (1)	56,45 (1)
$T_{\text{ДТГ}}$ (700÷1100 °С), °С	1079,3 (1)	959,2 (3)	1076,5 (1)	1051,5 (1)	1042,2 (2)	1048,3 (2)
$\Delta c_p$ (600÷900 °С), Дж/г К	3,1 (2)	2,47 (3)	6,31 (1)	2,62 (3)	3,53 (↓) (5)	4,61 (↓) (5)
Степень термостойкости	2	3	1	2	3	3

\* Примечание: в скобках оценки каждого критерия указана степень термостойкости в соответствии с предложенной методикой оценки термостойкости.



1 – ДТГ кривая термолитиза исходного ОЗС; 7 – ОЗС + 2 % АСМ; 9 – ОЗС + 10 % АСМ.  
 8 – ОЗС + 5 % АСМ;

Рис.2. Термограммы ТГ и ДТГ анализа ОЗС с добавками АСМ



1 – ДСК кривая термолитиза исходного ОЗС; 3 – ОЗС + 5 % CaSiO<sub>3</sub>; 5 – ОЗС + 10 % CaSiO<sub>3</sub>;  
 2 – ОЗС + 2 % CaSiO<sub>3</sub>; 4 – ОЗС + 7 % CaSiO<sub>3</sub>; 6 – ОЗС + 20 % CaSiO<sub>3</sub>;

Рис.3. ДСК кривые с добавками волластонита

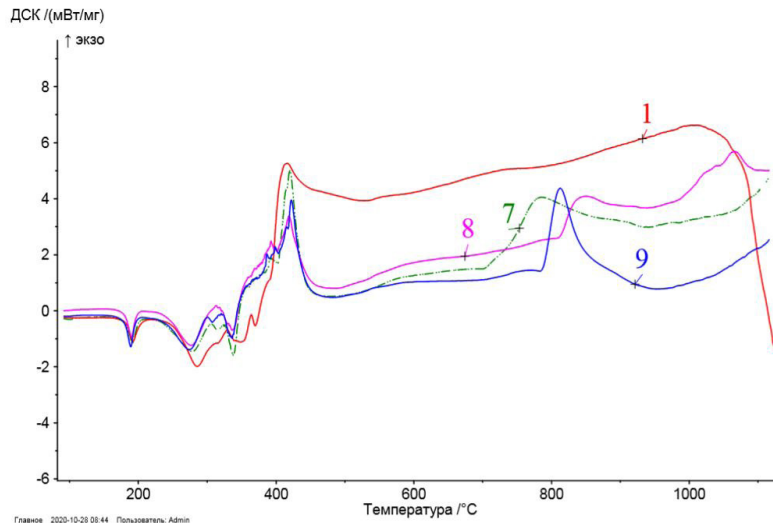
**Таблица 2. Оценка термостойкости ОЗС с добавками АСМ\***

	ОЗС №1	ОЗС №7	ОЗС №8	ОЗС №9
ZO <sup>1100</sup> , %	38,62 (3)	38,91 (3)	51,08 (1)	50,70 (1)
T <sub>ДТГ</sub> (700÷1100 °С), °С	1079,3 (1)	940,1 (4)	1058,8 (2)	1065,6 (1)
Δс <sub>р</sub> (600÷900 °С), Дж/г К	3,1 (2)	2,84 (3)	7,81 (1)	2,11 (3)
Степень термостойкости	2	3	1	2

\* Примечание: в скобках оценки каждого критерия указана степень термостойкости в соответствии с предложенной методикой оценки термостойкости.

Для получения расчетного времени огнезащитной эффективности ( $\tau_{расч}$ ) для анализируемых составов, следует применить формулу:

$$\tau_{расч} = 0,8 \times ZO^{1100} + 0,1 \times T_{ДТГ} + 1,8 \times \Delta c_p - 87,4 \quad (1)$$



1 – ДТГ кривая термолитиза исходного ОЗС; 7 – ОЗС + 2 % АСМ; 8 – ОЗС + 5 % АСМ; 9 – ОЗС + 10 % АСМ.

Рис. 4. ДСК кривые с добавками АСМ

Для экспериментального подтверждения «работоспособности» предлагаемой методики были проведены огневые испытания на определение огнезащитной эффективности в установке для испытаний на огнезащитную эффективность средств огнезащиты и огнестойкость строительных конструкций и заполнения проемов в соответствии с ГОСТ 1363-2-2014 [6] и ГОСТ 53295-2009 [7] в условиях углеводородного температурного режима (рисунок 5).

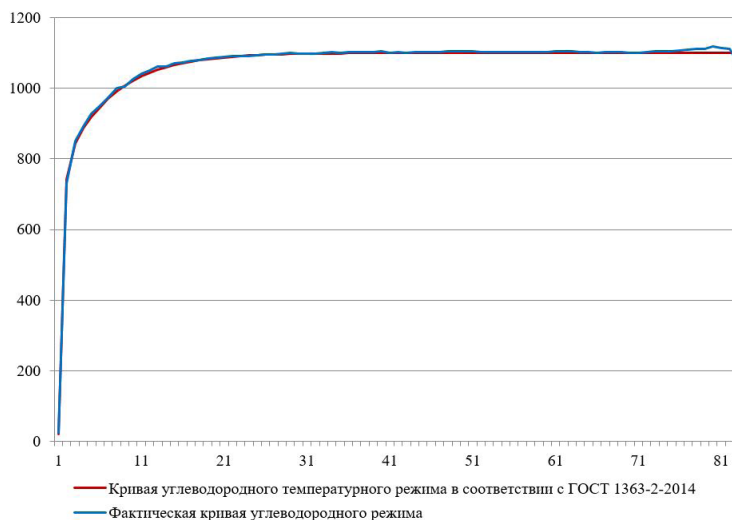
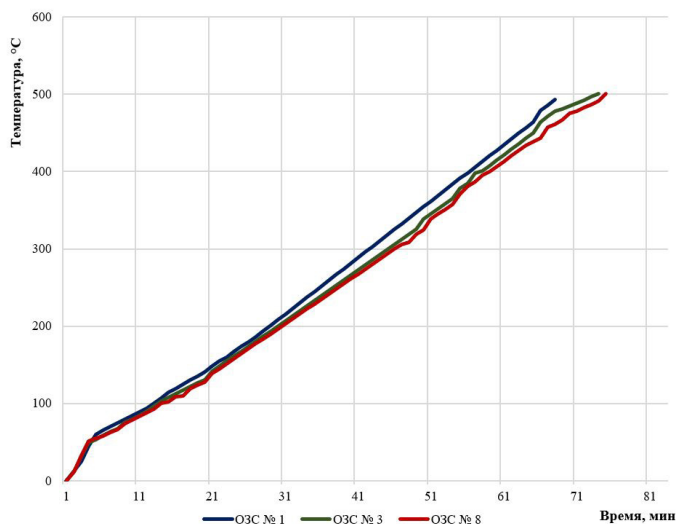


Рис. 5. Кривые углеводородного температурного режима по ГОСТ 1363-2-2014 и фактическая кривая испытаний в установке

Следует отметить, что поскольку у ОЗС № 5 и 6 наблюдается снижение теплоемкости ( $\Delta c_p$  (600÷900 °C)), что свидетельствует о том, что данные композиции перестают осуществлять свои огнезащитные функции. В связи с этим, следует внести ограничение в предлагаемую методику: в случае, если наблюдается снижение теплоемкости, предложенная методика оценки термостойкости методом СТА применяться не может. Следовательно, для ОЗС № 5 и 6 не может быть применена формула (1), используемая для получения расчетного времени огнезащитной эффективности.

В соответствии с результатами, полученными при огневых испытаниях в установке (рисунки 6), можно сделать вывод о том, что наибольшая огнезащитная эффективность наблюдается у ОЗС № 3 и ОЗС № 8, то есть у композиций, модифицированных волластонитом и АСМ в процентном соотношении 5 % соответственно.



1 – исходный ОЗС                      3 – ОЗС + 5 %  $CaSiO_3$                       8 – ОЗС + 5 % АСМ  
 Рис. 6. Результаты огневых испытаний ОЗС с добавками волластонита и АСМ

Сравним полученные расчетные ( $\tau_{расч}$ ) и экспериментальные ( $\tau_{эксп}$ ) данные оценки огнезащитной эффективности анализируемых огнезащитных композиций. Результаты сравнения расчетной оценки огнезащитной эффективности с экспериментальными результатами представлены в таблице 3.

**Таблица 3. Оценка расчетного и экспериментального времени огнезащитной эффективности**

ОЗС	$\tau_{расч}$ , МИН	$\tau_{эксп}$ , МИН
ОЗС № 1	66	69
ОЗС № 3	72	75
ОЗС № 8	73	76

Данные таблицы 3 указывают на вполне достаточную сходимость расчетных и экспериментальных значений времени достижения критической температуры. Среднее отклонение экспериментальных данных от расчетных составляет 4,2 %. Следует отметить, что составы, которые характеризуются более высокой степенью термостойкости с позиции метода СТА, продемонстрировали наибольшие показатели огнезащитной эффективности при огневых испытаниях.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности применения методики оценки термостойкости ОЗС методом СТА в условиях углеводородного пожара для предварительного анализа огнезащитной эффективности исследуемых огнезащитных композиций.

### Литература

1. Кондратьев С.А. Технология экспертного анализа обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2014. – № 1(5). – С. 269-273.
2. Цой, А.А. Испытание огнезащитных материалов в условиях углеводородного температурного режима // А.А. Цой, Ф.В. Демехин // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2015. – № 4. – С. 20-24.
3. Bezzaponnaya O.V., Golovina E.V. Effect of mineral fillers on the heat resistance and combustibility of an intumescent fireproofing formulation on silicon base // Russian journal of Applied chemistry. – 2018. – Vol. 91. – No. 1. – Pp. 96-100.
4. Головина Е.В., Беззапонная О.В., Мансуров Т.Х. Критерии оценки термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для объектов нефтегазового комплекса // Техносферная безопасность. – 2018. – № 3 (20). – С. 133-138.

5. Головина Е.В., Беззапонная О.В., Мансуров Т.Х. Методика оценки термостойкости огнезащитных материалов интумесцентного типа для условий углеводородного горения методом синхронного термического анализа // Техносферная безопасность. – 2018. – № 1(18). – С. 32-36.
6. ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014 Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Часть 2. Альтернативные и дополнительные методы. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». (дата обращения: 08.10.2020).
7. ГОСТ Р 53295-2009 Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». (дата обращения: 09.10.2020)