

УДК 614.84

bezzaponnay@mail.ru

**ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ГИПСОВУЮ ШПАКЛЁВКУ МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО  
АНАЛИЗА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОЧАГА ПОЖАРА**

**ASSESSMENT OF THE TEMPERATURE OF IMPACT  
ON GYPSUM PUTTY BY THERMAL ANALYSIS METHODS  
FOR DIAGNOSTICS OF A FIRE SEA**

*Беззапонная О. В., кандидат технических наук, доцент,  
Инкина П. С., Динисламов М. М.,  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Bezzaponnaya O., Inkina P., Dinislamov M.,  
Ural Institute of the State Fire Service EMERCOM of Russia, Yekaterinburg*

В статье описан методический подход для оценки термического воздействия на гипсовую шпаклёвку. Установлено, что в качестве критериев для оценки температуры воздействия на гипсовую шпаклёвку методами термического анализа целесообразно использовать термоаналитические характеристики: потерю массы при температуре 200 °С и зольный остаток при температуре 900 °С. Приведены результаты применения метода термического анализа для определения температуры воздействия на гипсовую финишную шпаклёвку ROTBAND.

*Ключевые слова:* температура воздействия, очаг пожара, гипсовая шпаклёвка, термические методы анализа, термоаналитические характеристики.

The article describes a methodical approach for assessing the thermal impact on the gypsum-based plaster composition. It has been established that it is advisable to use thermal analytical characteristics as criteria for assessing the temperature of impact on the plaster composition by thermal analysis methods: weight loss at a temperature of 200 °C and ash residue at a temperature of 900 °C. The results of applying the thermal analysis method to determine the impact temperature on the ROTBAND gypsum finishing putty.

*Keywords:* exposure temperature, fire source, gypsum putty, thermal methods of analysis, thermal analytical characteristics.

**Введение**

Определение местонахождения очага пожара является одной из основных задач, решаемых при производстве пожарно-технической экспертизы. Предварительные исследования проводятся уже во время осмотра места пожара при обследовании термических повреждений материалов. При необходимости отбираются пробы для проведения исследований в экспертных судебных учреждениях. Однако для определения степени термического воздействия необходимы данные

предварительных испытаний строительных материалов, в различной степени подверженных термическому воздействию, с получением зависимости аналитического сигнала от температуры воздействия на исследуемый материал. Очаг пожара диагностируется по максимальной степени термической деструкции исследуемого материала.

Для решения задачи диагностики очага пожара экспертами применяются такие методы, как метод ультразвуковой дефектоскопии, метод определения электросопротивления обугленной

древесины, копоти и пенококса полимеров, метод определения магнитных свойств холоднодеформированных металлических изделий [1], а также инструментальные методы (метод ИК-спектроскопии, хроматографический метод анализа и другие). Однако, по мнению авторов статьи и других исследователей, наиболее информативным и точным методом для решения задачи диагностики очага пожара является метод синхронного термического анализа (СТА) [2–4].

Анализ научных публикаций свидетельствует о том, что в настоящее время накоплен уже значительный экспериментальный материал исследования процесса термоокислительной деструкции различных строительных материалов [5–8], что весьма ценно для использования полученных результатов в целях пожарно-технической экспертизы. Изменение термоаналитических характеристик при повышении температуры воздействия позволяет не только охарактеризовать процесс термоокислительной деструкции материала, но и оценить зависимость этих характеристик от температуры воздействия для оценки степени термического воздействия на исследуемый материал. В последнее время появляется всё больше методических подходов [9–10] для оценки степени термического воздействия на тот или иной материал, но единого подхода на настоящее время не разработано, что свидетельствует об актуальности темы исследования.

В качестве критериев для определения температуры воздействия и диагностики очага пожара необходимо

использовать термоаналитические характеристики, которые имеют высокую корреляционную связь с температурой воздействия на материал. Безусловно, для материалов разной химической природы это будут разные термоаналитические характеристики. В данной статье будут рассмотрены термолиз гипсовой шпаклёвки и алгоритм получения зависимостей температуры воздействия от термоаналитических характеристик, которые целесообразно применять в качестве критериев для оценки температуры воздействия на гипсовые шпаклёвки.

### Результаты исследований и их обсуждение

Для подготовки образцов проб и проведения исследований методом синхронного термического анализа (СТА) гипсовая финишная шпаклёвка ROTBAND была нанесена на полимерную подложку для полного высыхания. Исследование образцов материала проводили на приборе Netzsch STA 449 F5 Jupiter в среде воздуха, в корундовых тиглях, в интервале температур, характерном для стандартного (целлюлозного) режима пожара (25–900 °С). При проведении испытаний фиксировались следующие зависимости: термогравиметрическая (ТГ) кривая; дифференциально-термогравиметрическая (ДТГ) кривая; кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Термограмма гипсовой финишной шпаклёвки ROTBAND, полученная при скорости нагрева 25 °С/мин, представлена на рис. 1.

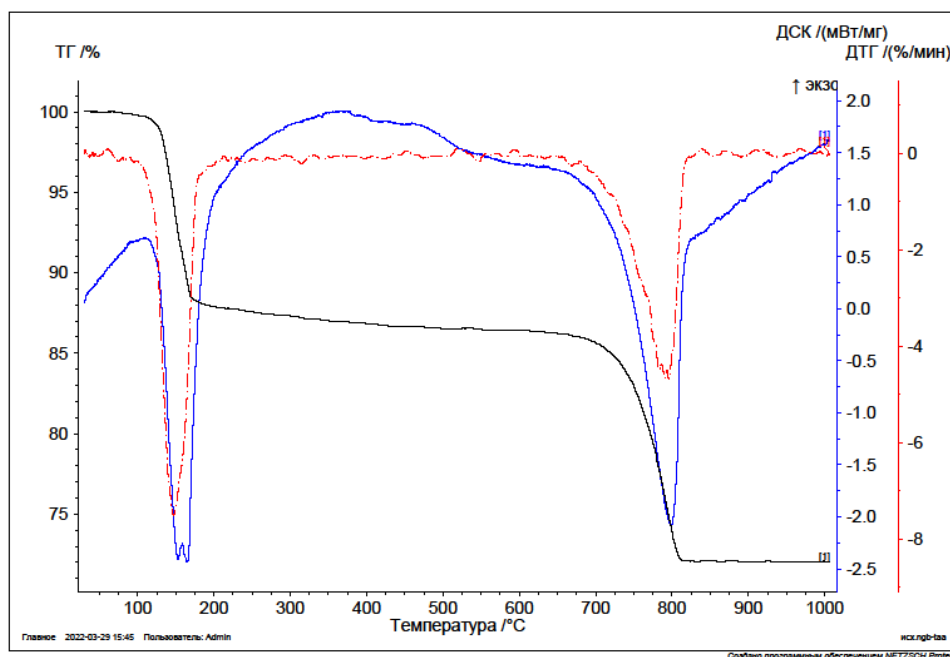
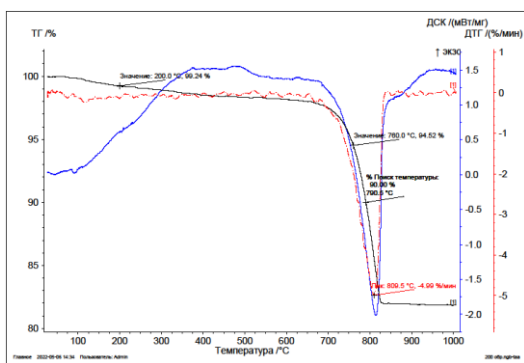


Рисунок 1. Термограмма исходной (нативной) гипсовой шпаклёвки ROTBAND (среда – воздух, скорость нагрева 20 °С/мин)

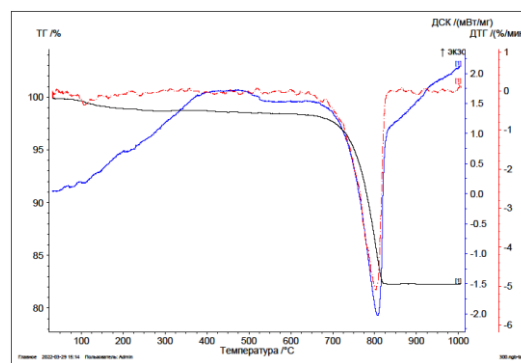
Анализ ТГ-кривой свидетельствует о 2-хстадийном процессе термоллиза образцов шпаклёвки (две ступени на ТГ-кривой) и двух ДТГ-пиков на ДТГ-кривой. Зольный остаток анализируемой шпаклёвки составил 72,04 %. Максимум первого ДТГ-пика приходится на температуру 147,1 °С, второго ДТГ-пика – на температуру 795,4 °С.

На ДСК-кривой наблюдаются два эндотермических пика: с максимумом при температуре 165,1 °С и при температуре 799,1 °С.

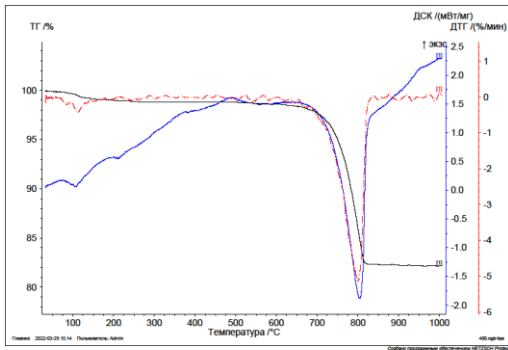
Термограммы гипсовой шпаклёвки, предварительно подвергнутой термическому воздействию, представлены на рис. 2 (а-ж).



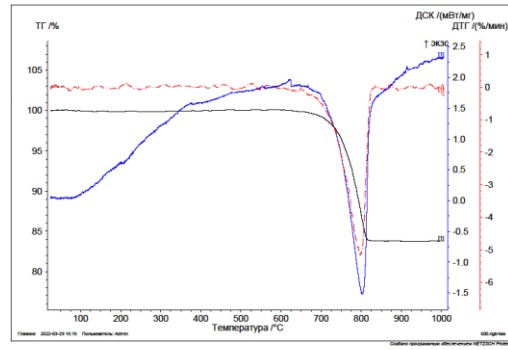
а)  $t_{\text{ПВ}} = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$



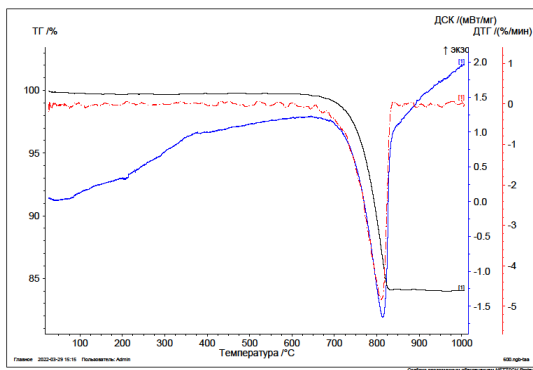
б)  $t_{\text{ПВ}} = 300 \text{ } ^\circ\text{C}$



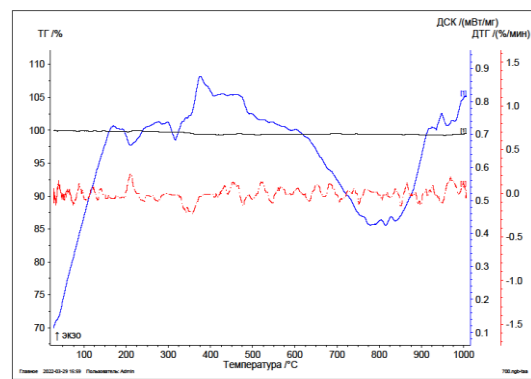
в)  $t_{ПВ} = 400 \text{ }^\circ\text{C}$



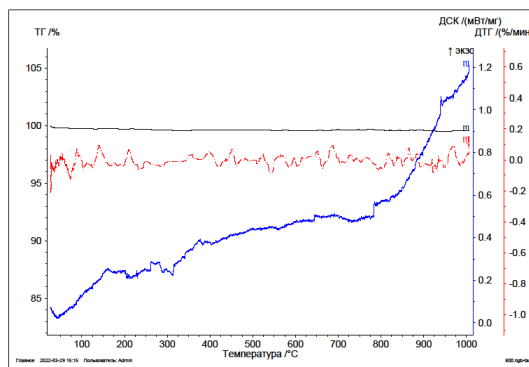
з)  $t_{ПВ} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$



д)  $t_{ПВ} = 600 \text{ }^\circ\text{C}$



е)  $t_{ПВ} = 700 \text{ }^\circ\text{C}$



ж)  $t_{ПВ} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$

Рисунок 2. Термограмма гипсовой финишной шпаклёвки ROTBAND при различных температурах предварительного теплового воздействия (среда – воздух, скорость нагрева 20 °C/мин)

Зависимость зольного остатка от температуры предварительного воздействия представлена на рис. 3.

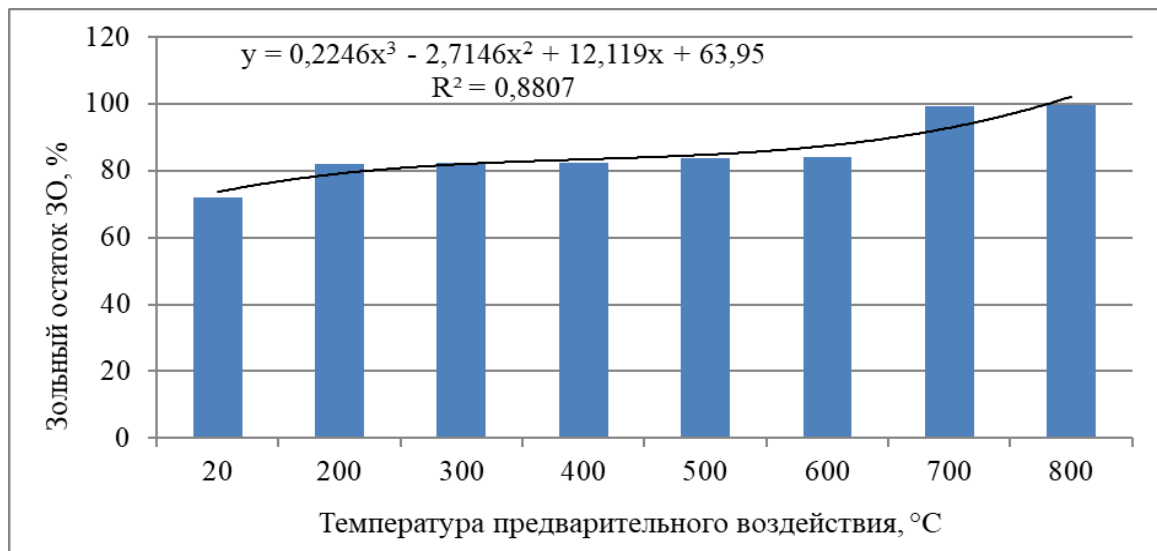


Рисунок 3. Зависимость зо́льного остатка от температуры предварительного воздействия на образец гипсовой финишной шпаклёвки ROTBAND

Зависимость зо́льного остатка шпаклёвки ROTBAND от температуры воздействия удовлетворительно ( $R^2 = 0,8807$ ) описывается полиномиальной кривой третьего порядка. Полученное уравнение зависимости позволяет прогнозировать значение зо́льного остатка при заданной температуре воздействия на гипсовую шпаклёвку.

Для расчёта температуры воздействия на исследуемый материал необходимо получить уравнение зависимости температуры воздействия от зо́льного остатка. График, демонстрирующий влияние температуры на величину зо́льного остатка, приведён на рис. 4.

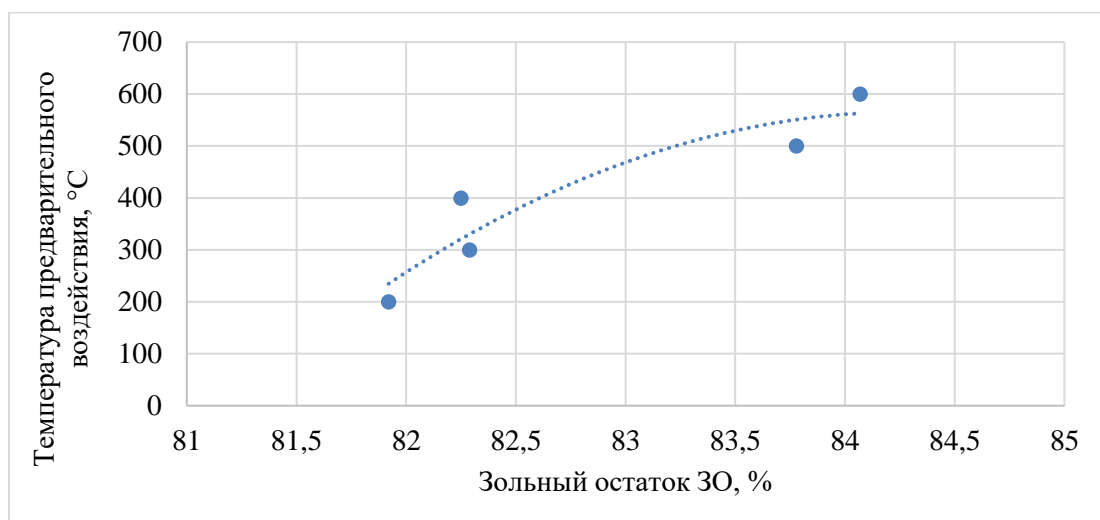


Рисунок 4. Влияние температуры воздействия на зо́льный остаток шпаклёвки ROTBAND при 900 °C

Получено уравнение второго порядка для определения температуры воздействия  $t$ , при известной потере массы

гипсовой финишной шпаклёвки  
ROTBAND ( $R^2 = 0,8765$ ):

$$t = -59,527x^2 + 10033x - 422228, \quad (1)$$

где  $x$  – зольный остаток шпаклёвки  
ROTBAND при температуре 900 °С, %.

График, демонстрирующий влияние температуры на величину потери массы при температуре 200 °С, приведён на рис. 5.

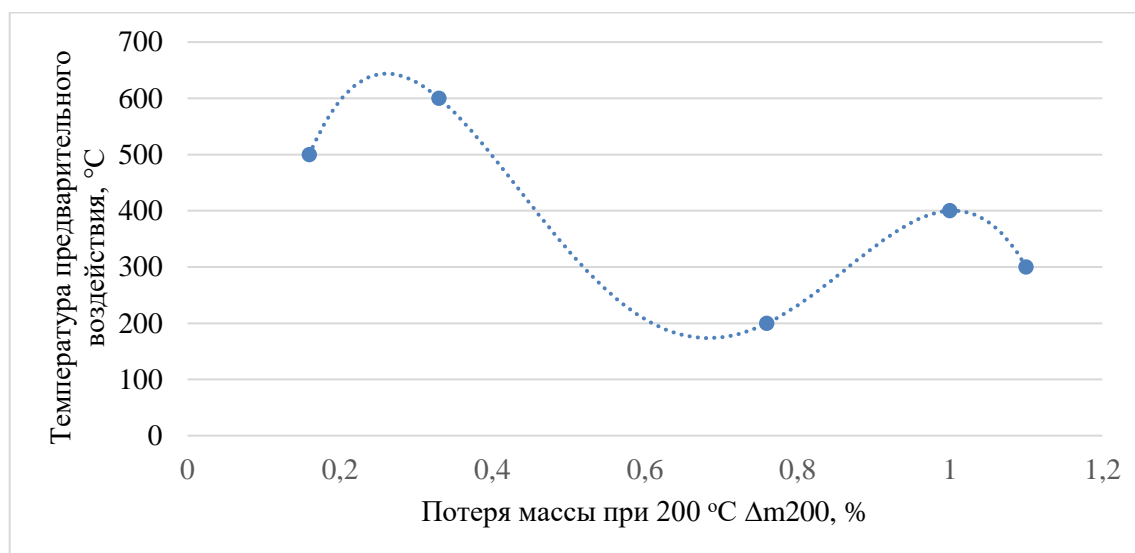


Рисунок 5. Влияние температуры воздействия на потерю массы гипсовой шпаклёвки ROTBAND при 200 °С

Получено полиномиальное уравнение четвертого порядка для определения температуры

воздействия  $t_{пв}$ , при известной потере массы образца гипсовой шпаклёвки ( $R^2 = 0,998$ ):

$$t_{пв} = -17625x^4 + 45803x^3 - 39739x^2 + 12643x - 681,65, \quad (2)$$

где  $x$  – потеря массы образца шпаклёвки при температуре 200 °С, %.

Для остальных термоаналитических характеристик удовлетворительных зависимостей не получено. Для расчёта итоговой температуры воздействия на исследуемый материал находится среднее арифметическое значений, рассчитанных по уравнениям (1) и (2).

После оценки степени термического воздействия в разных зонах помещения строится схема температурных полей и по максимальной температуре воздействия определяется зона нахождения очага пожара.

Проверка достоверности результатов определения температуры воздействия на материал показала, что относительная погрешность составила

1,14 %, то есть погрешность определения не превышает 5 %, что свидетельствует о достоверности полученных результатов и точности расчётов.

### Выводы

Анализ результатов исследований позволил сделать следующие выводы:

- в качестве критериев оценки температурного воздействия на гипсовые шпаклёвочные составы целесообразно рассматривать термоаналитические характеристики, имеющие тесную корреляционную связь ( $R^2 > 0,8$ ) с температурой воздействия на материал: зольный остаток при температуре 900 °С, потеря массы при температуре 200 °С;

- получены уравнения, позволяющие рассчитать температуру

воздействия на материал при известной потере массы и зольного остатка;

– погрешность определения температуры воздействия на исследуемый

материал не превышает 5 %, что свидетельствует о достоверности полученных результатов и точности проведения расчётов.

#### Литература

1. Чешко И. Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие. М., 2002. 330 с.
2. Дашко Л. В., Синюк В. Д., Плотникова Г. В. Экспертное исследование цементного камня после высокотемпературного воздействия // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24, № 12. С. 22–32.
3. Беззапонная О. В. и др. Диагностика температуры воздействия пожара на огнезащитные покрытия интумесцентного типа методами термического анализа // Техносферная безопасность. 2019. № 4 (25). С. 73–81.
4. Флегонтов Д. В., Акулова М. В., Петров А. В., Потёмкина О. В. Методика комплексного исследования бетонов, подвергшихся термическому воздействию на пожаре // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2019. № 1 (30). С. 36–43.
5. Флегонтов Д. В., Акулова М. В., Петров А. В. Термический анализ как способ установления скрытых повреждений // Пожарная и аварийная безопасность. 2019. № 2 (13). С. 11–15.
6. Корзанов В. С., Красновских М. П. Влияние термического воздействия на прочность бетона // Вестник Пермского университета. 2020. Т. 10, Вып. 3. С. 277–284.
7. Беззапонная О. В. Оценка температуры воздействия на древесину в условиях пожара методами термического анализа // Техносферная безопасность. 2020. № 3 (28). С. 70–80.
8. Дашко Л. В., Довбня А. В., Ключников В. Ю., Плотникова Г. В. Применение методов термического анализа при производстве пожарно-технических экспертиз // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2012. № 1 (60). С. 59–64.
9. Ключников В. Ю., Дашко Л. В., Довбня А. В., Плотникова Г. В. Применение методов термического анализа при производстве пожарно-технических экспертиз // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21, № 7. С. 47–51.
10. Беззапонная О. В. Термические методы анализа. Екатеринбург, 2021. 87 с.

#### Reference

1. Cheshko I. D. Tekhnicheskie osnovy rassledovaniya pozharov: metod. posobie. M., 2002. 330 s.
2. Dashko L. V., Sinyuk V. D., Plotnikova G. V. Ekspertnoe issledovanie cementnogo kamnya posle vysokotemperaturnogo vozdejstviya // Pozharovzryvobezopasnost'. 2015. T. 24, № 12. S. 22–32.
3. Bezzaponnaya O. V. i dr. Diagnostika temperatury vozdejstviya pozhara na ognезashchitnye pokrytiya intumescentnogo tipa metodami termicheskogo analiza // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2019. № 4 (25). S. 73–81.
4. Flegontov D. V., Akulova M. V., Petrov A. V., Potyomkina O. V. Metodika kompleksnogo issledovaniya betonov, podvergshihся termicheskomu vozdejstviyu na pozhare // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. 2019. № 1 (30). S. 36–43.
5. Flegontov D. V., Akulova M. V., Petrov A. V. Termicheskij analiz kak sposob ustanovleniya skrytykh povrezhdenij // Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost'. 2019. № 2 (13). S. 11–15.
6. Korzanov V. S., Krasnovskih M. P. Vliyanie termicheskogo vozdejstviya na prochnost' betona // Vestnik Permskogo universiteta. 2020. T. 10, Vyp. 3. S. 277–284.
7. Bezzaponnaya O. V. Ocenka temperatury vozdejstviya na drevesinu v usloviyah pozhara metodami termicheskogo analiza // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2020. № 3 (28). S. 70–80.
8. Dashko L. V., Dovbnaya A. V., Klyuchnikov V. YU., Plotnikova G. V. Primenenie metodov termicheskogo analiza pri proizvodstve pozharno-tekhnicheskikh ekspertiz // Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii. 2012. № 1 (60). S. 59–64.
9. Klyuchnikov V. Yu., Dashko L. V., Dovbnaya A. V., Plotnikova G. V. Primenenie metodov termicheskogo analiza pri proizvodstve pozharno-tekhnicheskikh ekspertiz // Pozharovzryvobezopasnost'. 2012. T. 21, № 7. S. 47–51.
10. Bezzaponnaya O. V. Termicheskie metody analiza. Ekaterinburg, 2021. 87 s.