

УДК 614.841.1

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0033

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЦЕЛЯХ УСТАНОВЛЕНИЯ ОЧАГА ПОЖАРА

© 2021

Лебедев Андрей Юрьевич, кандидат технических наук,
доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз
Бельшина Юлия Николаевна, кандидат технических наук, доцент,
начальник кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз
Черушов Игорь Викторович, кандидат технических наук
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
(196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149,
e-mails: lebedev@igps.ru, belshina.y@igps.ru, und58@yandex.ru)

Аннотация. Работа посвящена анализу результатов исследования скорости прохождения ультразвука в природных каменных материалах, подвергнутых термическому воздействию. Объекты исследования: природные образцы травертина и сланца в условиях высоких фиксированных температур. Описан алгоритм экспериментов, используемое оборудование, визуальные результаты наблюдений за морфологическими признаками образцов: их структурой и степенью повреждений в результате термического воздействия. Обработка собранных экспериментальных данных осуществлялась с применением методов математической статистики. Выявлены регрессионные зависимости скорости прохождения ультразвуковой волны от воздействия высоких фиксированных температур в образцах травертина и сланца, с учётом случайных колебаний и факторов статистических ошибок. Проведенные исследования подтверждают эффективность применения ультразвуковой дефектоскопии, по сравнению с визуальными методами анализа повреждений природных каменных материалов в результате фиксированных термических воздействий. Результаты работы рекомендуются к практическому применению при решении задач пожарно-технической экспертизы в полевых и лабораторных условиях.

Ключевые слова: метод ультразвуковой дефектоскопии, каменные материалы, исследование пожара.

STUDY OF ACOUSTIC PROPERTIES OF NATURAL STONE MATERIALS IN PURPOSE OF ESTABLISHING A FIRE FOCUS

© 2021

Lebedev Andrey Yuryevich, candidate of technical sciences,
associate professor of the «Forensic science and engineering expertise department»
Belshina Yuliya Nikolayevna, candidate of technical sciences, associate professor,
head of the «Forensic science and engineering expertise department»
Cherushov Igor Viktorovich, candidate of technical sciences
St. Petersburg University State Fire Service EMERCOM of Russia
(196105, Russia, St. Petersburg, Moskovskiy prospect, 149,
e-mails: lebedev@igps.ru, belshina.y@igps.ru, und58@yandex.ru)

Abstract. The work is devoted to the analysis of the results of studying the speed of ultrasonic transmission in natural stone materials under thermal action. Research object: natural travertine and shale samples in high fixed temperatures conditions. The experiment algorithm, equipment, visual results of observations of the samples morphological attributes (their structure and damage grades as a result of thermal action) are described. Experimental data processing was carried out mathematical statistics using. The regression dependences of the ultrasonic wave spreading speed were revealed (on the effect of high fixed temperatures in travertine and shale samples): random fluctuations and statistical errors factors is taken into consideration. The research confirms ultrasonic flaw detection effectiveness in comparison with visual damage analyzing methods for natural stone materials under fixed thermal actions. Authors recommends research results for practical using for solving fire-technical expertise problems in a laboratory or afield.

Keywords: acoustic analysis method, stone materials, fire investigation.

Введение. Среди материалов, которые позволяют оценить динамику развития горения на пожаре по результатам исследования их субстанциональных свойств, большой интерес представляют каменные материалы. Они сохраняются на месте пожара, происходящие в них изменения могут быть оценены различными инструментальными методами, полученные результаты могут быть источником информации о распространении горения из очага пожара. В пожарно-технической экспертизе исследование каменных материалов отно-

сится к одним из наиболее применяемым видам исследований. С одной стороны, существуют различные лабораторные методы, которые позволяют детально изучить характер происходящих в них изменений, по которым можно четко диагностировать температуру нагрева. С другой, существуют полевые методы, которые на основе исследования характеристик разрушения поверхности, судить о сравнительной степени нагрева материалов в разных зонах пожара [1 – 4].

В классических методиках пожарно-технической

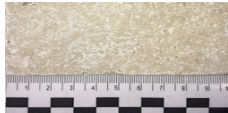

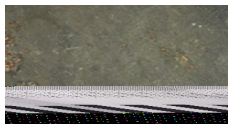
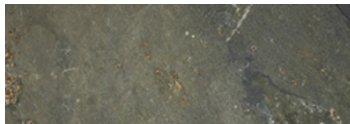
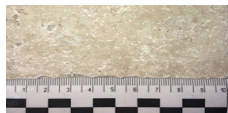



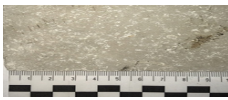






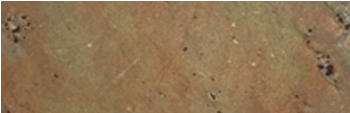




экспертизы в качестве объектов исследования рассматриваются различные искусственные каменные материалы на основе гипса, цемента, извести, а также силикатный кирпич. Такие материалы содержат связанную воду, при нагреве она испаряется, что приводит к разрушению. Для таких материалов в качестве полевого метода исследования большое распространение получила ультразвуковая спектроскопия. Методик исследования природных каменных материалов в пожарно-технической экспертизе нет, поэтому данное направление является весьма актуальным, поскольку в последнее время применение таких материалов в строительстве и внутренней отделке помещений весьма распространено [2 – 6].

Целью статьи является представление результатов работы по изучению эффективности ультразвуковой дефектоскопии для установления температурных ха-

рактеристик природных каменных материалов в рамках пожарно-технической экспертизы.

Материалы и результаты исследования. В качестве первого объекта исследования был выбран природный каменный материал – травертин, вторым – сланец. Из материалов нарезались образцы, размерами 15×10×1 см. Образцы подвергали термическому воздействию: каждый образец помещался в разогретую до фиксированной температуры муфельную печь и выдерживался 30 минут. В исследовании применялся ультразвуковой тестер *UK1401M*. Поскольку травертин относится к известнякам [7], происходящие в нём изменения, в первую очередь, будут касаться появления трещин, связанных с процессами дегидратации. Разложение компонентов может приводить к изменению цвета, что и подтверждают наблюдаемые визуальные изменения травертина до и после нагрева (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты визуального исследования образцов травертина и сланца после обработки в печи

Травертин	Сланец	Описание температурных условий
		образец в исходных условиях
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 200 °C
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 300 °C
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 400 °C
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 500 °C
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 600 °C
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 700 °C
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 800 °C
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 900 °C
		образец, выдержанный в муфельной печи при температуре 1000 °C

При нагреве до 200 – 300°C визуальных изменений травертином не произошло, не изменился ни цвет образцов ни целостность. Это вполне ожидаемо, учитывая известковую природу материала. По визуальным изменениям структуры образцов видно, что изначально травертин до температуры 300°C при выдержке в 30 минут не изменял своих морфологических свойств. С 400°C до 500°C травертин серел и образовывал вкрапления, после 600°C камень стал темно-серым с выраженным вкраплением.

Как известно из литературных источников [4 – 7], и как видно из исследования основные изменения в структуре травертина происходили от 400°C до 1000°C. После нагрева свыше 700°C травертин начинает крошиться и рассыпаться, что свидетельствует о полном исключении кристаллической воды.

По данным визуальным признакам можно примерно оценивать степень термических поражений конструкций из естественных строительных каменных материалов. Гораздо эффективнее, можно определять степень термического поражения и ориентировочную температуру нагрева природного каменного материала не по визуальным данным, а по результатам исследования с помощью специальных приборов и оборудо-

вания.

По визуальным признакам изменениям структуры образцов видно, что уже изначально сланец при температуре в 300°C и выдержке в 30 минут в муфельной печи с электронным терморегулятором начал изменять свои морфологические свойства.

После 500°C на природной каменном материале сланце появились более выраженные рыжие пятна, структура камня не изменилась, вкрапления стали еще темнее.

После 700°C природный сланец стал рыжим с выраженными темно-рыжими пятнами, структура не изменилась, трещин и расколов материала не наблюдается, вкрапления ярко выражены.

Визуальные изменения травертина показали появление в нем микро- и макротрещин сопровождается изменением его акустических характеристик, которые можно оценить, изучая скорость прохождения через образец поверхностной ультразвуковой волны. При температурах нагрева до 300°C значение скорости прохождения ультразвуковой волны меняются мало, поэтому рассматривать данный диапазон для построения регрессионных зависимостей не имеет смысла (рис. 1).

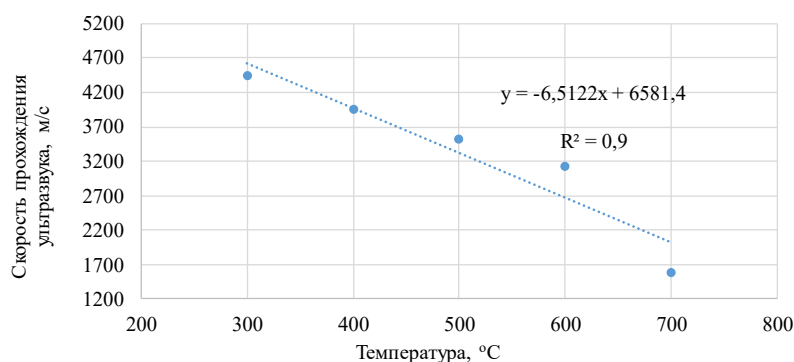


Рисунок 1 – Регрессионная зависимость скорости ультразвука от температуры травертина

В диапазоне 300 – 700°C зависимость скорости прохождения поверхностной ультразвуковой волны от температуры нагрева материала носит практически линейный характер, достоверной аппроксимации составляет 0,90.

Таким образом, удалось получить зависимость температуры от скорости прохождения поверхностной ультразвуковой волны, которую можно использовать на месте пожара для ориентировочного определения температуры нагрева конструкций.

Для оценки полученных результатов была проведена их статистическая обработка. Для 15 параллельных измерений каждого из образцов были рассчитаны дисперсии по выборке и критерий Кохрена. В качестве критического значения критерия Кохрена принято значение, равное 0,403 [8]. Для всех образцов полученные значения критерия Кохрена находились в пределах критического значения это свидетельствует о том, что полученные эмпирические данные представляют собой равномерную выборку, различия данных

лежат в рамках случайных колебаний и не превышают статистическую ошибку, такие различия не критичны, поэтому в данном случае измерения можно сравнивать между собой.

Следующим этапом стала оценка значимости различий в скорости прохождения ультразвуковой волны для образцов, выдержанных при разных температурах. Для этого использовали *t*-критерий.

При расчёте *t*-критерия (табл. 2) за критическое значение принимается значение, равное 3,18.

Таблица 2 – Результаты расчёта *t*-критерия по каждому сравниваемому массиву данных

	Номер сравниваемого массива данных					
	2	3	4	5	6	
1	8,33	12,33	22,01	22,13	101,14	
2		6,06	13,04	15,26	57,20	
3			4,86	8,07	32,14	
4				4,11	31,04	
5					19,64	

Из данной таблицы видно, что при сравнении результатов измерения образцов, подвергавшихся температурному воздействию выше 200°C, наблюдаются значения t -критерия намного выше критического. Можно сказать, что разница скорости прохождения ультразвука в образцах, выдержанных при разных температурах, превышает погрешность измерения и может считаться значимой, при разнице температур 100°C.

Визуальные изменения сланца показали отсутствие трещин на поверхности, которые можно было зафиксировать визуально. Камень выдерживал высокотемпературный нагрев, менялся цвет, но сами образцы не разрушались.

Исследование образцов с помощью ультразвуково-

го тестера показало, что изменение скорости прохождения ультразвука при нагреве, характерно и для этого материала.

В диапазоне 300 – 700°C зависимость скорости прохождения поверхностной ультразвуковой волны от температуры нагрева материала носит практически линейный характер, достоверной аппроксимации.

Эмпирическая зависимость температуры от скорости нагрева сланца представлена на рисунке 2. Достоверность аппроксимации составляет 0.96.

Значение критерия Кохрена полученные при статистической обработке результатов исследования данного образца находятся в пределах критического значения. Результаты расчета t -критерия представлены в таблице 3.

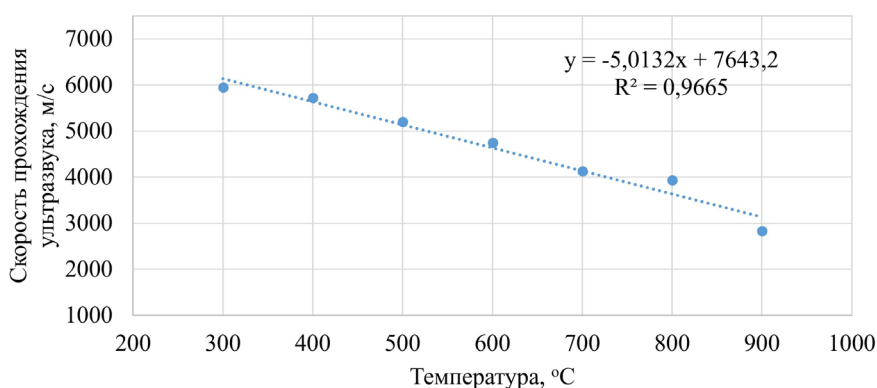


Рисунок 2 – Регрессионная зависимость скорости ультразвука от температуры сланца

Таблица 3 – Результаты расчёта t -критерия по каждому сравниваемому массиву данных

Номер сравниваемого массива данных	Номер сравниваемого массива данных							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		2,03	3,53	13,56	33,41	35,83	55,61	45,35
2			2,62	11,94	29,10	32,93	49,43	43,21
3				5,16	10,79	16,16	19,75	26,76
4					6,91	14,13	19,53	26,98
5						10,80	19,48	26,38
6							3,78	16,30
7								15,44

* составлено автором

Закключение. В случае сланца, как и в случае травертина, разница между измерениями для образцов, отличающихся температурой нагрева на 100°C – значима, метод позволяет четко отличить образцы по степени их разрушения при нагреве. Проведённые исследования показали эффективность применения ультразвуковой дефектоскопии для исследования природных каменных материалов при решении задач пожарно-технической экспертизы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Галишев М. А., Бельшина Ю. Н., Дементьев Ф. А. Пожарно-техническая экспертиза. СПб.: 2014. 453 с.
2. Сикорова Г. А., Лебедев А. Ю., Дементьев Ф. А., Галишев М. А., Чешко И. Д., Бельшина Ю. Н. Полевые инструментальные методы исследования объектов пожарно-технической экспертизы. СПб.: 2018. 160 с.
3. Милешина Е. В. Исследование естественных каменных материалов в пожарной экспертизе. Сборник: Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности. Матери-

алы III Международной научно-практической конференции. 2020. С. 67–70.

4. Основы криминалистической экспертизы материалов, веществ и изделий: учебное пособие / под ред. В. Г. Савенко. – М.: ЭКЦ МВД России, 1993–208 с.

5. Долгушина Л. В., Лагунов А. Н., Ефремов И. Г., Гапоненко М. В. О возможностях пожарно-технической экспертизы при анализе строительных материалов. Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2017. № 2 (5). С. 9-13.

6. Погодаева О. О., Ковалько А. С., Плотнокова Г. В., Селезнев В. Ю. Исследование отделочных материалов при производстве пожарно-технической экспертизы. Сборник: Деятельность правоохранительных органов в современных условиях. Материалы XVIII Международной научно-практической конференции, посвящённой 20-летию образования института. 2013. С. 271–275.

7. Боганчикова Е. А. Применение травертина в современном строительстве. Сборник: Международная научно-техническая конференция молодых учёных БГТУ им. В. Г. Шухова. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. 2014. С. 78 – 83.

8. Дерффель К. Статистика в аналитической химии. Пер. с нем. – М.: Мир, 1994. – 268 с.

9. Ловчиков В. А. Физико-химические методы экспертного исследования. Лабораторный практикум: учебное пособие. / В.А. Ловчиков, Ю. Н. Бельшина, Ф.А. Дементьев / Под общей ред. В.С. Артамонова. - СПб.: СПб УГПС МЧС России, 2012. - 164 с.

10. Макарова, И. А. Физико-химические методы исследования строительных материалов: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / И. А. Макарова, Н. А. Лохова. – Братск Изд-во БрГУ, 2011. – 199с.

11. Матвеева Л. Ю. Коррозия и защита строительных материалов. Часть 1. Коррозия и защита металлических, каменных и бетонных материалов и конструкций: учебное пособие / Л. Ю. Матвеева. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 101 с.

12. Моисеева Т. Ф. Криминалистическое исследование веществ, материалов и изделий из них. Курс лекций. М.: Щит-М, 2005. – 208.

13. Огнестойкость строительных конструкций. – Сб. науч. тр.– М.: ВНИИПО МВД СССР, 1973 – 1986.

14. Основы криминалистической экспертизы материалов, веществ и изделий: учебное пособие / под ред. В. Г. Савенко. – М.: ЭКЦ МВД России, 1993–208.

15. Отто М. Современные методы аналитической химии. Изд. 2-е, исправленное. – М.: Техносфера, 2006 – 416 с.

16. Пожарно-техническая экспертиза: Учебник / Галишев М. А., Бельшина Ю. Н., Дементьев Ф.А и др. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. 453 с.

17. Применение рентгеновского анализа при исследовании объектов, изъятых с места пожара. – СПб.: СПб филиал ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2010. – 67 с.

18. Природные каменные материалы: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов всех направлений и уровней подготовки, реализуемых МГСУ / составители Д. В. Орешкин [и др.]. – Москва: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2014. – 16 с.

19. Расследование пожаров: Учебник / В. С. Артамонов, В. П. Белобратова, Ю. Н. Бельшина и др. Под ред. Г. Н. Кирилова, М. А. Галишева, С. А. Кондратьева. СПб.: СПб Университет ГПС МЧС России, 2007. - 544 с.

20. Дергунов, С. А. Изучение образцов минералов и горных пород: методические указания / С. А. Дергунов, С. А. Орехов. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2012. – 26 с.

Статья поступила в редакцию 16.08.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021