

Научная статья

УДК 614.841.2.001.5; DOI: 10.61260/2218-13X-2024-4-20-29

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЩЕПОЦЕМЕНТНЫХ БЛОКОВ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЖАРЕ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

✉ **Клаптюк Ирина Викторовна;**

**Крылов Дмитрий Александрович;**

**Бельшина Юлия Николаевна.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**

✉ [klaptuk.i@igps.ru](mailto:klaptuk.i@igps.ru)

*Аннотация.* При изготовлении неорганических конструкционных и отделочных материалов безобжиговым способом используются различного рода связующие. Одним из самых распространенных является цемент. Современные технологии направлены на улучшение эксплуатационных свойств строительных материалов, таких как тепло- и звукоизоляция, экологичность, а также снижение себестоимости строительства. Щепоцементные блоки – высокотехнологичный композитный материал нового поколения, который в настоящее время становится все более популярным в России и по всему миру и используется наиболее часто при строительстве малоэтажных домов, коттеджей, то есть в основном объектов загородного жилья. Однако у данной категории объектов достаточно высока вероятность возникновения пожаров.

Представлены результаты анализа изменения структуры и состава композитного материала на основе щепоцементной смеси при нагревании, а также количественная оценка степени термических поражений. В качестве метода исследования была выбрана инфракрасная спектроскопия как наиболее информативный при исследовании различного рода материалов в пожарно-технической экспертизе.

*Ключевые слова:* неорганические строительные материалы, композитные материалы, щепоцементные блоки, цемент, древесная щепа, пожар, горение, термическое воздействие, экспертиза, инфракрасная спектроскопия

**Для цитирования:** Клаптюк И.В., Крылов Д.А., Бельшина Ю.Н. Исследование щепоцементных блоков для установления степени термического воздействия на пожаре методом инфракрасной спектроскопии // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2024. № 4. С. 20–29. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-4-20-29.

Scientific article

## **INVESTIGATION OF CHIP CEMENT BLOCKS TO DETERMINE THE DEGREE OF THERMAL IMPACT ON FIRE BY INFRARED SPECTROSCOPY**

✉ **Klapyuk Irina V.;**

**Krylov Dmitry A.;**

**Belshina Yulia N.**

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

✉ [klaptuk.i@igps.ru](mailto:klaptuk.i@igps.ru)

*Abstract.* Different types of cementing agents are used in the manufacturing of inorganic structural and finishing materials using a non-firing method. Cement is one of the most common. Modern technologies are aimed to improve the exploitative properties of building materials, such as heat and sound insulation, environmental friendliness, as well as reducing construction costs. Chip-cement block is a high-tech composite material of a new generation, which is currently

becoming increasingly popular in Russia and around the world, and it is most often used in the construction of low-rise houses, cottages, i.e. mainly suburban housing projects. However, this category of objects has a fairly high probability of fires.

The article presents results of structure and composition changes analysis in the composite material based on a woodchip-cement mixture during heating, as well as a quantitative assessment of thermal damage degree. Infrared spectroscopy was chosen as a research method, as it is the most informative for studying various types of materials in fire-technical examination.

*Keywords:* inorganic constructing materials, composite materials, woodchip blocks, cement, wood chips, fire, gorenje, thermal effects, expertise, infrared spectroscopy

**For citation:** Klapyuk I.V., Krylov D.A., Belshina Yu.N. Investigation of chip cement blocks to determine the degree of thermal effect on a fire by infrared spectroscopy // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2024. № 4. P. 20–29. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-4-20-29.

## Введение

Современная строительная отрасль включает в себя различные направления инновационной деятельности, нацеленные на повышение эффективности и качества строительных работ. В частности, разработка конструктивных решений, увеличивающих надежность и снижающих материалоемкость и трудоемкость работ, а также применение новых материалов и технологий для обеспечения повышенной прочности, эффективности тепло-, гидроизоляции, шумопоглощения в несущих и ограждающих конструкциях.

К таким современным конструкционным материалам относятся щепоцементные блоки (ЩЦБ). Технология монолитного строительства из щепоцементных плит получила широкое распространение и признана специалистами более 40 стран. Она энергоэффективна и экологична. Плиты (блоки) производятся методом прессования из минерализованной древесной щепы (95 %) и цемента с добавлением катализатора и антисептика. Данная технология в России все чаще применяется в строительстве загородной недвижимости [1].

Согласно ГОСТ 12.1.004–91 [2] жилые дома относятся к первой категории пожарной опасности. Это значит, что на фоне прочих сооружений они имеют наименьшую вероятность возникновения огня, так как не предполагают производства и хранения горючих веществ. Однако данные статистики говорят о том, что ежегодно в России фиксируется более 100 тыс. случаев пожаров в жилом секторе, что составляет порядка 30 % от общего числа пожаров в стране [3, 4].

Возгорание в загородном доме может повлечь серьезные последствия. Вероятность, что в частном доме может случиться пожар, достаточно высока, так как такие дома часто отапливают дровами, углем или электричеством, при этом используется специализированное оборудование: котлы, бойлеры, печи-камины, насосы, греющие кабели, вентиляторы и пр. Любая неисправность в системе может привести к возгоранию.

Таким образом, исследование вышеуказанного нового конструкционного материала с целью установления влияния температурного воздействия на структуру и состав ЩЦБ представляется весьма актуальным. Полученные данные позволят определять в ходе исследования пожара зоны наибольшего температурного воздействия, что в свою очередь позволит более объективно подойти к вопросу установления очага, развития и причины пожара.

Технология строительства из ЩЦБ была запатентована в Голландии в 1932 г. и к настоящему времени уже хорошо известна в европейских странах. С 2004 г. по этой технологии стали строить и в России. Несмотря на большое содержание древесины, щепоцементный композит даже под воздействием газовой горелки только обугливается. Испытания показали, что стена из подобного рода блоков выдерживает действие огня в течение 150 мин [5].

## Методы исследования

Основным источником информации о тепловом воздействии на строительные материалы и их конструкции является визуальный осмотр. В целях пожарно-технической экспертизы для обнаружения очаговой зоны важно понимать, как видоизменяется строительный материал на пожаре под воздействием теплового потока.

Зачастую визуальные признаки в ходе пожара при продолжительном горении нивелируются, тогда о степени термического воздействия на материал данные могут быть получены различными инструментальными методами, которые фиксируют изменения их структуры на молекулярном уровне. Одним из наиболее информативных методов исследования структурных особенностей веществ и материалов, применяемых в пожарно-технической экспертизе, является инфракрасная спектроскопия. Данный метод позволяет исследовать бетонные конструкции даже в зоне сильных разрушений (образование микротрещин и крошение материала), где применение полевых приборов, например, ультразвукового дефектоскопа становится невозможным. Критерием оценки в данном случае является спектральный критерий – соотношение величины интенсивностей отдельных характеристических частот в спектре [6].

Согласно справочной информации [1] щепоцементные плиты имеют следующий состав: минерализованная древесная щепа (95 %), цемент, сульфат алюминия (катализатор) и жидкое стекло (минерализатор, атисептик, связующее).

Для установления зависимости изменения структуры от степени термического воздействия наиболее целесообразно при исследовании данного конструкционного материала отбирать пробу без примеси древесной стружки, так как это может помешать спектральному анализу. Для отбора проб поверхность блоков предварительно очищают от копоти и грязи, после чего откалыванием осуществляют отбор на глубину не более 5 мм. Для оценки степени термических поражений пробы необходимо отбирать по периметру помещения на одной высоте.

Для пробоподготовки применяют метод таблетирования с бромидом калия, для чего отбирают небольшое количество анализируемой пробы (примерно 2 мг). Съёмку спектров осуществляют на ИК-Фурье спектрометре в диапазоне измерений  $4\,000\text{--}400\text{ см}^{-1}$  в режиме «пропускание», с числом сканов 4 и разрешением  $4\text{ см}^{-1}$ .

Экспериментальное моделирование процесса термической деструкции рассматриваемых в данной статье ЩЦБ осуществлялось в муфельной печи.

Фрагменты ЩЦБ размером  $100\times 150$  мм, толщиной 40–50 мм, вырезанные со стороны блока, обращённой внутрь здания, помещали в муфельную печь, моделируя односторонний прогрев в условиях пожара. Для этого их располагали на подложке из минеральной ваты толщиной 50 мм и размещали на подставке, отделяя от греющего основания печи. Образцы поочерёдно обжигали при температурах от  $100\text{ °C}$  до  $900\text{ °C}$  с шагом  $100\text{ °C}$ . Время экспозиции каждого образца в печи при заданной температуре составляло 30 мин. Охлаждение происходило в закрытой ёмкости без доступа кислорода при комнатной температуре.

## Результаты исследования и их обсуждение

### Визуальные признаки изменения ЩЦБ при термическом воздействии

В ходе экспериментальных исследований ЩЦБ визуально были зафиксированы изменения цвета и структуры образцов, в зависимости от степени термического воздействия на них (рис. 1).

При повышении температуры воздействия до  $200\text{ °C}$  визуальных отличий от исходного образца нет. Прочность поверхностного слоя так же не меняется. Обусловлено это тем, что бетонная составляющая не претерпевает существенных изменений при таком термическом воздействии. Термическое разложение древесины находится на своем

первоначальном этапе и сопровождается в основном выделением воды, что может сопровождаться пожелтением древесины [7]. Однако из-за присутствия в ЩЦБ связующего – цемента, данного изменения визуально зафиксировать невозможно.

При тепловом воздействии порядка 300 °С поверхность блоков темнеет. При достижении температуры 400 °С поверхность блоков приобретает серо-коричневый цвет, наблюдается незначительное обугливание.

При дальнейшем нагреве материала до температуры порядка 500 °С цвет поверхности становится более темный. Наблюдается увеличение толщины обугливания до 15–20 мм.

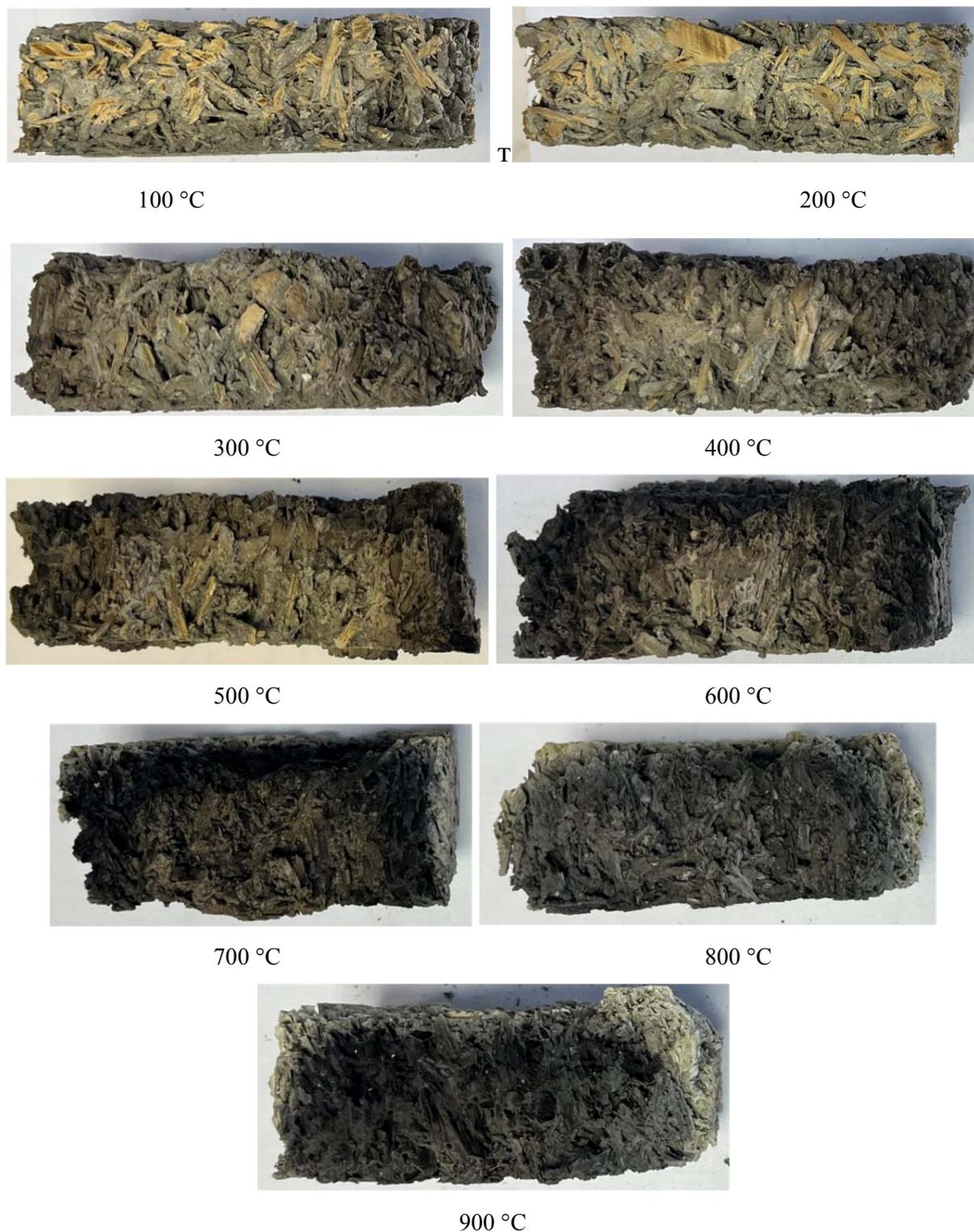


Рис. 1. Вид ЩЦБ при разном температурном воздействии

При температуре 600 °С наблюдается образование светло-серого пепельного слоя, что свидетельствует о выгорании образовавшегося угольного слоя. Глубина обугливания в целом увеличивается до 25 мм. Структура материала начинает меняться, прочность поверхностного слоя существенно снижается.

При термическом воздействии на образец порядка 700 °С цвет поверхностного слоя становится серо-желтым. Глубина обугливания увеличивается до 35 мм. Наблюдается значительное уменьшение прочности материала.

После выдержки образца при температуре 800 °С увеличивается степень выгорания поверхностного слоя угля, который приобретает пепельный цвет. Глубина обугливания составляет более 4 см. Поверхность материала начинает крошиться.

При достижении 900 °С цвет поверхностного слоя светло-серый. Глубина обугливания составляет порядка 5 см. Материал легко крошится и разламывается.

Сохранение геометрических размеров блоков обусловлено наличием бетонного связующего, который образует своего рода каркас.

### Исследование методом инфракрасной спектроскопии

Изучение изменения спектральных характеристик цементного связующего ЩЦБ под воздействием температуры позволяет получить более детально информацию о температурных зонах нагрева конструкций в широком диапазоне от 300 до 900 °С и выше.

Как видно из рис. 2, 3 на спектрах исследуемых образцов основные полосы поглощения присутствуют в области 1 700–500 см<sup>-1</sup>. Широкая малоразрешенная полоса поглощения в области 3 600–3 200 см<sup>-1</sup> относится к колебаниям О-Н связей в воде, которая находится в бромиде калия (материал для таблетирования исследуемых проб), поэтому данные полосы поглощения не учитываются при расшифровке спектров.

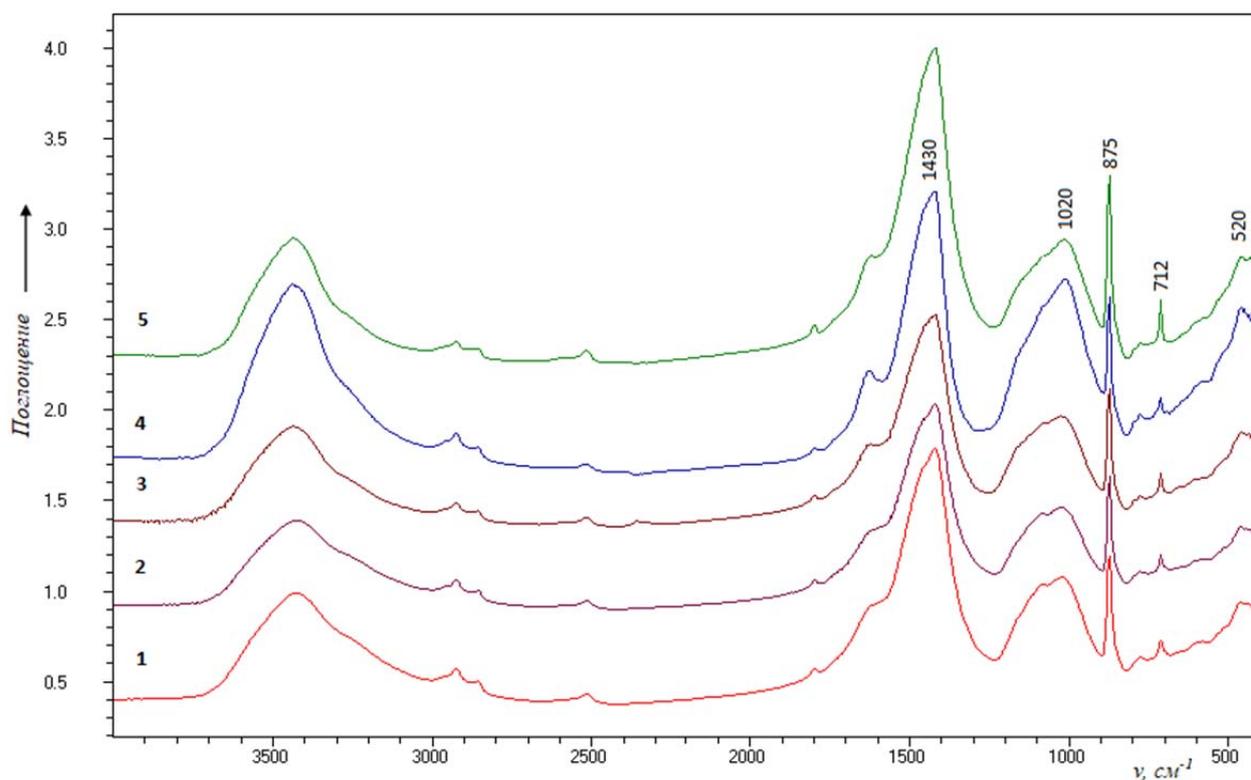


Рис. 2. Инфракрасные спектры образцов связующего ЩЦБ при разной температуре нагрева: 1 – исходный образец связующего; 2 – образец связующего при 100 °С; 3 – образец связующего при 200 °С; 4 – образец связующего при 300 °С; 5 – образец связующего при 400 °С

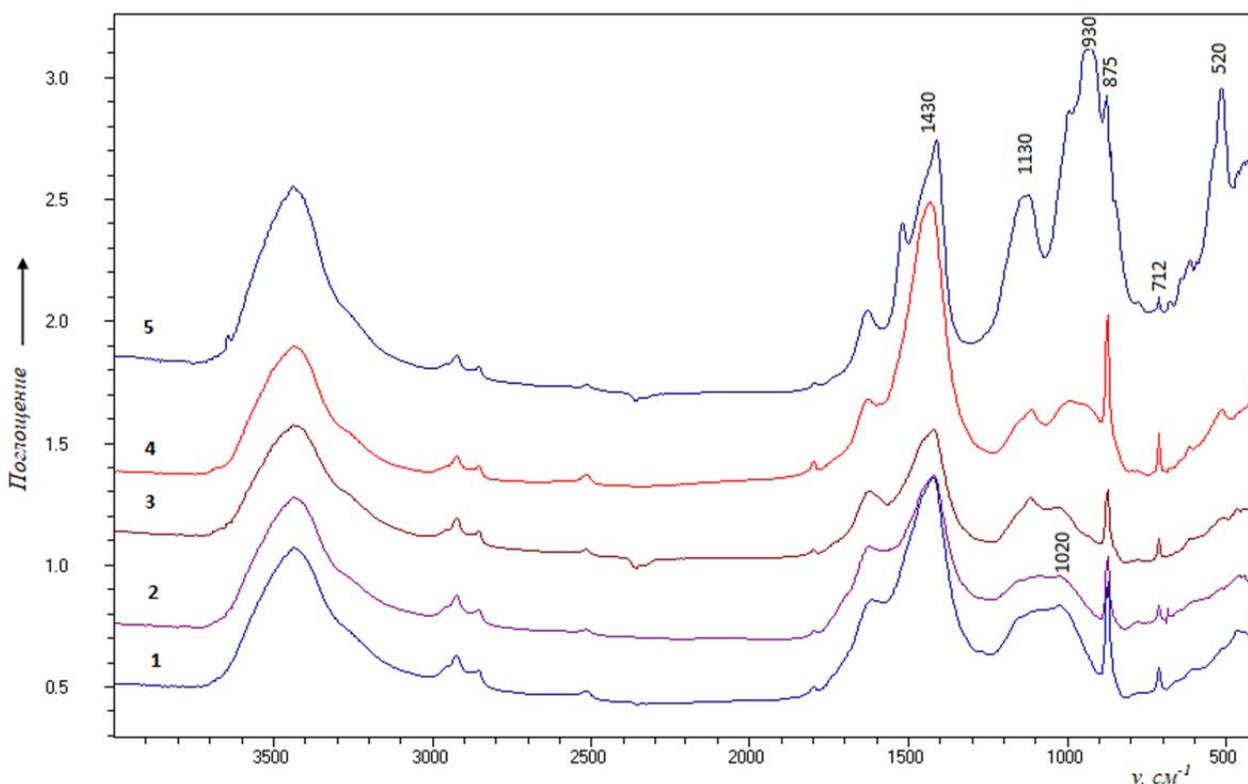


Рис. 3. Инфракрасные-спектры образцов связующего ЩЦБ при разной температуре нагрева: 1 – образец связующего при 500 °С; 2 – образец связующего при 600 °С; 3 – образец связующего при 700 °С; 4 – образец связующего при 800 °С; 5 – образец связующего при 900 °С

Как известно [6, 8], цементный камень представляет собой конгломерат гидроалюмосиликатов кальция, гидроксида кальция, карбоната кальция (кальцита) и пр. Таким образом, в спектре исходного образца (рис. 2, кривая 1) мы наблюдаем широкую полосу поглощения в области 1 400–1 450  $\text{см}^{-1}$ , соответствующую деформационным колебаниям ОН-групп в вершинах кремнекислородных тетраэдров, что является отличительной особенностью силикатов [8]. Кроме того, в данной области присутствуют также валентные колебания карбонатных групп (полоса поглощения 1 430  $\text{см}^{-1}$ ) входящих в состав кальцита. В спектральной области от 900 до 1 200  $\text{см}^{-1}$  наблюдается группа малоразрешенных полос поглощения, относящихся к колебаниям мостиковых связей Si-O-Si в кристаллической решетке каолинита [9], в частности, это полосы поглощения 1 009 и 1 032  $\text{см}^{-1}$ . Полосы поглощения в области 1 085–1 105  $\text{см}^{-1}$  относятся к колебаниям Si-O-Si в каркасных структурных фрагментах, а в области 900–1 000  $\text{см}^{-1}$  к валентным колебаниям немостиковых связей Si-O в различных силикатных и алюмосиликатных группах [8]. Также в области 900–1 000  $\text{см}^{-1}$  находятся колебания связей Al-O(-H) в алюмосиликатных системах [10–12]. Острая интенсивная полоса поглощения 875  $\text{см}^{-1}$  относится к деформационным колебаниям карбонатной группы в кальците. Полосы поглощения при 760, 695, 540  $\text{см}^{-1}$  относятся к различным колебаниям Si-O и Al-O в слоистых алюмосиликатах [8].

При качественном анализе спектров образцов ЩЦБ, подверженных разной степени температурного воздействия, можно наблюдать изменение соотношения интенсивностей полос поглощения в области 1 200–800  $\text{см}^{-1}$ , связанное с перестроениями в кристаллической решетке алюмосиликатов в результате нагрева. Вместо широкой полосы поглощения появляются три полосы поглощения с максимумами 1 130, 1 020 и 930  $\text{см}^{-1}$ . Кроме того, появляется дополнительная полоса поглощения 520  $\text{см}^{-1}$ , связанная с мостиковым колебаниям Si-O-Al [13, 14]. При температуре 800 °С и выше снижается (вплоть до полного

исчезновения) интенсивность полос 1430 и 875  $\text{см}^{-1}$ . Данное изменение спектральной картины вызвано разложением карбоната кальция (кальцита).

Для установления количественных критериев степени термических поражений материалов необходимо увязать изменения какого-либо параметра спектра с температурой или длительностью теплового воздействия. Для этого обычно рассчитывают оптические плотности  $D$  полос поглощения, претерпевающих наиболее существенные изменения, и вводят спектральный критерий, используя отношение оптических плотностей полос поглощения  $S=D_x/D_y$ . Часто имеет смысл рассматривать полосы, изменяющиеся при нагревании в противофазах [6].

Исходя из анализа спектров образцов ЩЦП, представленных на рис. 2, 3, для количественного расчета степени термических поражений щепоцементных материалов возможно использовать следующие спектральные критерии:

$$S_1=D_{875}/D_{1020}; S_2=D_{1020}/D_{1430}; S_3=D_{1130}/D_{875}; S_4=D_{1020}/D_{520},$$

где  $D_{520}$ ,  $D_{875}$ ,  $D_{1020}$ ,  $D_{1130}$ ,  $D_{1430}$  – оптические плотности полос поглощения 520, 875, 1 020, 1 130 и 1 430  $\text{см}^{-1}$  соответственно.

В качестве примера приведен расчет спектрального критерия  $S_1=D_{875}/D_{1020}$ . В таблице отображены данные, полученные в результате обработки спектров, исследуемых образцов ЩЦП. На рис. 4 представлена градуировочная кривая зависимости данного спектрального критерия от температуры, которая в последствии может быть использована для установления степени термического поражения данного материала, отобранного на пожаре.

Таблица

**Данные для расчета спектрального критерия в зависимости от температуры**

№ образца	$D_{1020}$	$D_{875}$	S	T, °C
исходный	0,47	0,64	1,36	25
1	0,46	0,63	1,37	100
2	0,47	0,66	1,40	200
3	0,46	0,67	1,46	300
4	0,47	0,9	1,91	400
5	0,13	0,25	1,92	500
6	0,12	0,27	2,25	600
7	0,09	0,21	2,33	700
8	0,24	0,63	2,62	800
9	0,39	1,17	3,01	900

Градуировочная кривая представляет собой экспоненциальную зависимость при среднеквадратичном отклонении 0,96.

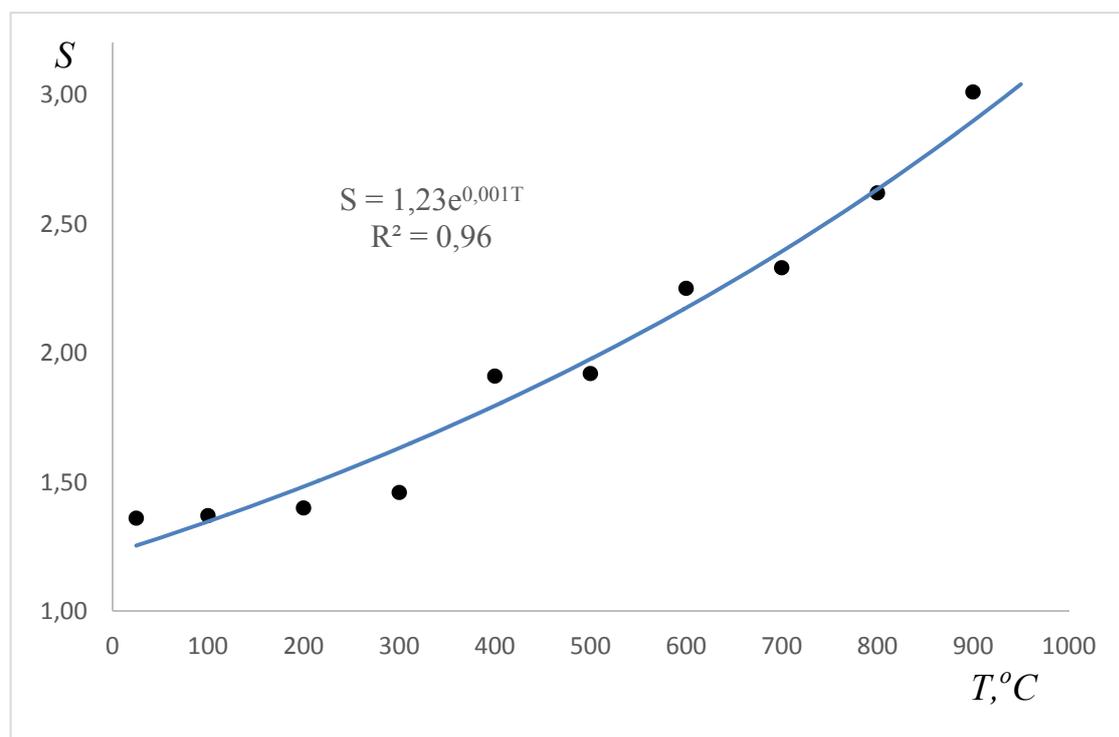


Рис. 4. Зависимость спектрального критерия  $S_1 = D_{875}/D_{1020}$  от температуры нагрева

Таким образом, в данном случае зоне максимальных термических поражений соответствует максимальное значение критерия  $S$ .

Следует отметить, что при ответе на вопрос об очаге пожара полученные результаты расчетов необходимо сопоставлять с имеющимися данными о распределении пожарной нагрузки на исследуемом объекте.

### Заключение

Результаты представленных исследований композитного материала на основе щепоцементной смеси методом инфракрасной спектроскопии позволяют проследить структурные изменения данного материала на молекулярном уровне при температурном воздействии в широком диапазоне от 300 до 900 °С и выше. Следует отметить, что при исследовании конструкций из ЩЦБ следует отбирать пробы цементного связующего.

Используя вычисленные спектральные критерии, можно построить карту зон термических поражений конструкций на месте пожара. Для этого величины спектральных критериев, рассчитанных для отобранных на месте пожара проб, наносятся на план места пожара или план исследуемой конструкции (стены, перекрытия и т.д.).

Полученные данные могут быть использованы в рамках судебно-экспертной деятельности, что позволит повысить достоверность проводимых экспертных исследований по делам о пожарах в части установления очага, причины, а также процесса развития пожара.

### Список источников

1. Щепоцементные плиты и блоки: особенности материала и отличия от аналогов // Все о переработке вторсырья и утилизации отходов. URL: <https://rcycle.net/drevesina/shhepa/primenenie/shhepotsementnye-plity-i-bloki-osobennosti-materiala-i-otlichiya-ot-analogov> (дата обращения: 18.07.2024).

2. ГОСТ 12.1.004–91. ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования»: Межгосударственный стандарт. М.: Стандартиформ, 2006. 68 с.
3. Обстановка с пожарами в российской федерации в 2023 году / Т.А. Чечетина [и др.] // Пожарная безопасность. 2024. № 1 (114). С. 102–119.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: информ.-аналитич. сб. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2023. 80 с.
5. Загородное строительство 2012 // Европейские традиции. URL: [https://cket.ru/info/stroit\\_legko\\_zhit\\_udobno/](https://cket.ru/info/stroit_legko_zhit_udobno/) (дата обращения: 04.04.2024).
6. Андреева Е.Д., Чешко И.Д. Применение ИК-спектроскопии при исследовании объектов, изъятых с места пожара: метод. пособие. М.: ВНИИПО МЧС России, 2010. 91 с.
7. Горение древесины при пожаре: учеб. пособие / С.П. Амельчугов [и др.]. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2022. 148 с.
8. Аспекты применения инфракрасной спектроскопии алюмосиликатных сырьевых компонентов в строительном материаловедении / М.С. Лебедев [и др.] // Технические науки – от теории к практике: XXIV Междунар. конф. Новосибирск: 2013. URL: <https://sibac.info/2009-07-01-10-21-16/9846> (дата обращения: 20.04.2024).
9. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры силикатов. М.: Изд-во МГУ, 1967. 190 с.
10. Modification of kaolinite surfaces through mechanochemical treatment a mid-IR and near-IR spectroscopic study / R.I. Frostm [et al.] // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2002. Vol. 58. P. 2849–2859.
11. Van der Marel H.W., Beutelspacher H. Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and Their Admixtures. 1st Ed., Elsevier, Amsterdam, 1976. 396 p.
12. Dehydroxylation mechanisms in Al<sup>3+</sup>/Fe<sup>3+</sup> dioctahedral phyllosilicates by quantum mechanical methods with cluster models / E. Molina-Montes [et al.] // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2008. Vol. 72. Iss. 16. P. 3929–3938.
13. Tyagi B., Chudasama Ch.D., Jasra R.V. Determination of structural modification in acid activated montmorillonite clay by FT-IR spectroscopy // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2006. Vol. 64. Iss. 2. P. 273–278.
14. Изменение свойств минеральных порошков из алюмосиликатного сырья под влиянием термической модификации / М.С. Лебедев [и др.] // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 68–70.

## References

1. Shchepocementnye plity i bloki: osobennosti materiala i otlichiya ot analogov // Vse o pererabotke vtorsyr'ya i utilizacii otkhodov. URL: <https://rcycle.net/drevesina/shhepa/primenenie/shhepotsementnye-plity-i-bloki-osobennosti-materiala-i-otlichiya-ot-analogov> (дата obrashcheniya: 18.07.2024).
2. GOST 12.1.004–91. SSBT «Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya»: Mezhhgosudarstvennyj standart. M.: Standartinform, 2006. 68 s.
3. Obstanovka s pozharami v rossijskoj federacii v 2023 godu / T.A. Chechetina [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2024. № 1 (114). S. 102–119.
4. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2022 godu: inform.-analitich. sb. Balashikha: VNIPO MCHS Rossii, 2023. 80 s.
5. Zagorodnoe stroitel'stvo 2012 // Evropejskie tradicii. URL: [https://cket.ru/info/stroit\\_legko\\_zhit\\_udobno/](https://cket.ru/info/stroit_legko_zhit_udobno/) (дата obrashcheniya: 04.04.2024).
6. Andreeva E.D., Cheshko I.D. Primenenie IK-spektroskopii pri issledovanii ob"ektov, iz"yatykh s mesta pozhara: metod. posobie. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2010. 91 s.
7. Gorenje drevesiny pri pozhare: ucheb. posobie / S.P. Amel'chugov [i dr.]. Tyumen': GAU Severnogo Zaural'ya, 2022. 148 s.
8. Aspekty primeneniya infrakrasnoj spektroskopii alyumosilikatnykh syr'evykh komponentov v stroitel'nom materialovedenii / M.S. Lebedev [i dr.] // Tekhnicheskie nauki –

ot teorii k praktike: XXIV Mezhdunar. konf. Novosibirsk, 2013. URL: <https://sibac.info/2009-07-01-10-21-16/9846-> (data obrashcheniya: 20.04.2024).

9. Plyusnina I.I. Infrakrasnye spektry silikatov. M.: Izd-vo MGU, 1967. 190 s.

10. Modification of kaolinite surfaces through mechanochemical treatment a mid-IR and near-IR spectroscopic study / R.I. Frostm [et al.] // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2002. Vol. 58. P. 2849–2859.

11. Van der Marel H.W., Beutelspacher H. Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and Their Admixtures. 1st Ed., Elsevier, Amsterdam, 1976. 396 p.

12. Dehydroxylation mechanisms in  $A13+/Fe3+$  dioctahedral phyllosilicates by quantum mechanical methods with cluster models / E. Molina-Montes [et al.] // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2008. Vol. 72. Iss. 16. P. 3929–3938.

13. Tyagi B., Chudasama Ch.D., Jasra R.V. Determination of structural modification in acid activated montmorillonite clay by FT-IR spectroscopy // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2006. Vol. 64. Iss. 2. P. 273–278.

14. Izmenenie svojstv mineral'nykh poroshkov iz alyumosilikatnogo syr'ya pod vliyaniem termicheskoy modifikacii / M.S. Lebedev [i dr.] // Stroitel'nye materialy. 2012. № 9. S. 68–70.

### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 05.07.2024; одобрена после рецензирования: 13.11.2024;

принята к публикации: 15.11.2024

### **Information about the article:**

The article was submitted to the editorial office: 05.07.2024; approved after review: 13.11.2024;

accepted for publication: 15.11.2024

### *Сведения об авторах:*

**Клаптюк Ирина Викторовна**, начальник отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров НИИ перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), кандидат технических наук, e-mail: [klaptuk.i@igps.ru](mailto:klaptuk.i@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0815-0145>, SPIN-код: 1976-9134

**Крылов Дмитрий Александрович**, доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр. д. 149), кандидат технических наук, e-mail: [krylovda@mail.ru](mailto:krylovda@mail.ru), SPIN-код: 6034-5552

**Бельшина Юлия Николаевна**, старший научный сотрудник кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр. д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [belshina.y@igps.ru](mailto:belshina.y@igps.ru), SPIN-код: 2179-4907

### *Information about authors:*

**Klaptuk Irina V.**, head of the department of instrumental methods and technical means of fire expertise at the Research Institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: [klaptuk.i@igps.ru](mailto:klaptuk.i@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0815-0145>, SPIN: 1976-9134

**Krylov Dmitry A.**, associate professor of the department of criminalistics and engineering expertise of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: [krylovda@mail.ru](mailto:krylovda@mail.ru), SPIN: 6034-5552

**Belshina Yulia N.**, senior researcher at the department of criminalistics and engineering expertise of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [belshina.y@igps.ru](mailto:belshina.y@igps.ru), SPIN: 2179-4907