

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА ТЕРМИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОНСТРУКЦИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИПСОВЫХ ПЛИТ

Суриков А.В., Зайнудинова Н.В., Бойко В.П.

*Цель.* Определить перспективные методы оценки степени полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных с применением гипсовых плит (листов гипсокартонных).

*Методы.* Анализ результатов существующих исследований и методов оценки степени полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных с применением гипсовых плит. Лабораторные исследования образцов гипсовых плит в камерной электропечи при температурном воздействии.

*Результаты.* По результатам обзора литературных источников определены перспективные методы оценки степени полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных с применением гипсовых плит. Проведена адаптация известного метода визуальной оценки повреждений гипсовых плит при пожаре с целью ее применения на территории Республики Беларусь. Экспериментально установлено, что визуальный метод оценки степени термического повреждения различных типов гипсовых плит имеет низкую информативность при определенных диапазонах температур.

*Область применения исследований.* Полученные результаты исследований могут быть применены при осмотре места пожара для установления очага пожара, путей распространения, условий и динамики развития горения, а также при разработке технических средств для определения степени полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных из гипсовых плит.

*Ключевые слова:* осмотр места пожара, гипсовая плита, термическое повреждение, глубина прокаливания, очаг пожара.

(Поступила в редакцию 7 сентября 2022 г.)

### Введение

Для разработки эффективных мер борьбы с пожарами необходимо иметь четкое представление о причинах их возникновения. Так как пожар может произойти вследствие преступных действий, бездействия, халатности или нарушении правил (требований) пожарной безопасности, по каждому случаю его возникновения органами государственного пожарного надзора проводится соответствующая проверка<sup>1</sup>.

Проведение проверки по сообщению о пожаре включает проведение ряда процессуальных действий (сбор сведений о причине пожара посредством опроса очевидцев, рассмотрение проектной и эксплуатационной документации и ряд других). Однако наиболее важным из них является осмотр места пожара, в ходе которого производится фиксация состояния конструкций, предметов, материалов, машин, механизмов и других объектов в зоне горения, устанавливаются признаки, указывающие на природу происхождения источника загорания, наличие горючей среды и путей распространения, обнаружение и изъятие вещественных доказательств и т.д. Одной из главных задач, решаемых при осмотре места пожара, является обнаружение очага (очагов) пожара [1].

<sup>1</sup> Уголовно-процессуальный кодекс Республики Беларусь: 16 июля 1999 г., № 295-3: принят Палатой представителей 24 июня 1999 г.: одобрен Советом Респ. 30 июня 1999 г. // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 1999. – № 2/71.

Под очагом пожара понимают место первоначального его возникновения<sup>2</sup>. Предварительный вывод об очаге пожара можно сформировать по результатам исследования строительных конструкций, материалов, предметов и объектов в зоне предполагаемого очага, оценки степени их термического повреждения, выявленного как в результате внешнего осмотра, так и по результатам инструментальных исследований [2]. За последние годы возросло количество новых строительных материалов и изделий, которые применяются при устройстве и отделке помещений и зданий. Из-за их большого разнообразия, а также недостаточной изученности значимую для определения очага пожара информацию не всегда удается получить в требуемом объеме. Однако указанная проблема характерна и для достаточно давно применяемых в строительстве строительных материалов. Одним из них является гипсовая плита, которая применяется для выравнивания поверхностей, создания различных конструкций, например арок, ниш и декоративных многоуровневых потолков. Гипсовая плита – это строительный материал, состоящий из гипсового сердечника и оболочки из приклеенного плотного, способного к сопротивлению картона. Поверхности картона могут быть различными в зависимости от области применения каждого типа плит, а гипсовый сердечник может содержать добавки, придающие плите дополнительные свойства<sup>3</sup> (например, влагостойкость или повышенную стойкость к воздействию высоких температур).

Физико-химические свойства гипса как основного компонента рассматриваемого в настоящей статье строительного материала изучены достаточно подробно. В литературе приведены результаты многочисленных исследований, связанных с поведением гипса и гипсовых плит в условиях пожара (определения его пожарно-технических характеристик, пределов огнестойкости различных строительных конструкций, выполненных с его применением и т.д.). Вместе с тем, несмотря на практически повсеместное использование данного материала в строительстве, анализ проведенных до настоящего времени научных работ, выполненных на постсоветском пространстве, показывает, что исследований, направленных на разработку методов определения термического воздействия в условиях пожара на строительные конструкции, выполненные с применением гипсовых плит, с целью получения криминалистически значимой информации при проведении проверок по сообщениям об указанных чрезвычайных ситуациях, крайне мало.

В настоящей работе представлены результаты исследований, которые были направлены на определение перспективных методов оценки степени полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных с применением гипсовых плит.

### Основная часть

**Обзор методов оценки степени полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных с применением гипсовых плит.** Методы, применяемые для оценки термического повреждения конструкций, выполненных из гипсовых листов, базируются на известных закономерностях, характерных для данного материала в рассматриваемых условиях. Известно, что, как и любой целлюлозосодержащий материал в условиях воздействия высокой температуры, поверхность картона, в которую заключен слой гипса, при определенных значениях начинает обугливаться, что впоследствии приводит к его воспламенению и выгоранию<sup>4</sup>. Кристаллическая решетка сырого гипса – дигидрата сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – содержит примерно 21 % по массе химически связанной воды.

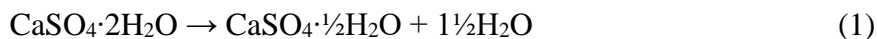
<sup>2</sup> Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность. Общие термины и определения: СТБ 11.0.02-95. – Введ. 01.10.95. – Минск: Госстандарт. – 20 с.

<sup>3</sup> Плиты гипсовые строительные. Технические условия: ГОСТ 32614-2012 (EN 520:2009) – Введ. 01.04.16. – Минск: Госстандарт, 2016. – 27 с.

<sup>4</sup> Guide for Fire and Explosion Investigations: NFPA 921. – Publ. date 01.01.16. – Massachusetts: National Fire Protection Association, 2017. – 426 p.

При воздействии высокотемпературной среды  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  подвергается двум эндотермическим реакциям разложения, в ходе которых химически связанная вода диссоциирует от кристаллической решетки и испаряется. Этот процесс известен как дегидратация гипса (*кальцинирование* или *прокаливание*) [3].

На первой стадии (уравнение (1)) дигидрат сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  теряет 75 % воды, образуя полугидрат сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ . Если гипс нагревается дальше, происходит вторая реакция (уравнение (2)), где полугидрат сульфата кальция теряет оставшуюся воду с образованием ангидрита  $\text{CaSO}_4$ . Обе реакции эндотермические, в результате теплообмен через гипсовую плиту затруднен до завершения процесса дегидратации. Конечными продуктами процесса являются ангидрит и водяной пар, последний диффундирует через сеть пор гипса и высвобождается через поверхность гипсовой плиты.



Дегидратация гипса приводит к двум важным эффектам: во-первых, к значительному изменению теплофизических свойств (например, плотности, теплопроводности, удельной теплоемкости), во-вторых, к образованию водяного пара, который высвобождается через поверхность гипсовой плиты [4]. Указанное химическое разложение происходит в температурном диапазоне 80–250 °С, а также зависит от времени воздействия температуры [3]. Дальнейшее увеличение значений воздействующих температур (около 400 °С) приводит к третьей, но уже экзотермической, реакции с образованием нерастворимого ангидрита. При температуре воздействия 700–800 °С происходит частичное разложение  $\text{CaSO}_4$ , что приводит к появлению оксида кальция  $\text{CaO}$  [5].

Именно описанные эффекты лежат в основе методов, применяемых для определения степени полученных в условиях пожара термических повреждений строительных конструкций, выполненных с применением гипсовых плит. Указанные методы можно разделить на визуальные и инструментальные.

Наиболее часто используемый метод визуальной оценки [7] основывается на анализе выявленных повреждений поверхности гипсовой плиты и сопоставлении их с известными стадиями ее повреждения вследствие воздействия высоких температур (рис. 1).

Наиболее точно указанный метод описан в работе [8]. Авторами определены качественные индикаторы визуальной оценки повреждений гипсовых плит, полученных в результате воздействия высоких температур (табл. 1).



Рисунок 1. – Стадии повреждения гипсовой плиты вследствие воздействия на нее высоких температур [6]

Указанные индикаторы варьируются от полного отсутствия видимых повреждений поверхности материала до его полного разрушения и ранжируются от 0 до 6. В отдельную группу выделены повреждения, которые не могут быть установлены по известным или неизвестным причинам (N/A). При применении данного метода на первоначальном этапе анализа проводится визуальная оценка повреждений гипсовых плит. Затем поврежденная поверхность делится на равные по площади участки, каждый из которых сопоставляется с таблицей индикаторов визуальной оценки. Таким образом, каждому участку поверхности конструкции присваивается соответствующее значение индикатора (от 0 до 6 либо N/A) и делается вывод о степени термического повреждения поверхности материала, полученного в результате пожара.

**Таблица 1. – Индикаторы визуальной оценки повреждений гипсовых плит, полученных в результате воздействия высоких температур [7]**

Степень повреждения, отн. ед.	Описание индикаторов визуальной оценки повреждений гипсовых плит
0	Никаких видимых повреждений: отличается натуральным цветом (неокрашенный – цвет картона, окрашенный – цвет краски, оклеенный обоями – цвет обоев)
1	Сажа оседает на поверхности: определенные области обесцвечиваются, но поверхность картона не повреждена
2	Изменение цвета картона и потеря краски: эти места поверхности обесцвечиваются в результате термического воздействия; картон может стать бурым, светло- или темно-черным (в зависимости от изначального цвета краски)
3	Картон отклеивается, пузырится и расслаивается: тепловое воздействие передалось за лицевую сторону картона
4	Лицевая сторона картона сгорела: эти места, как правило, серого или белого цвета
5	Полное выгорание: полное выгорание картона и сажи, места имеют бело-голубоватый цвет
6	Полное уничтожение: потеря целостности гипсовой плиты
N/A	Повреждения, которые не могут быть установлены по известным или неизвестным причинам

К безусловным достоинствам рассмотренной работы следует отнести определение достаточно четких критериев оценки термического повреждения конструкций, выполненных с применением гипсовых плит.

Вместе с тем, как и любой другой визуальный метод, рассмотренный метод носит субъективно-оценочный характер. В дополнение авторами приводятся лишь обобщенные сведения по внешним повреждениям материала и не указывается, какая именно гипсовая плита применялась при исследовании, что не позволяет экстраполировать полученные результаты на различные ее типы (например, влагостойкая либо гипсовая плита заданной плотности с повышенной стойкостью гипсового сердечника при воздействии открытого пламени). Хотя необходимо признать, что качественные характеристики индикаторов визуальной оценки повреждений рассматриваемого материала будут характерны для любого его исполнения.

Следует отметить, что рассматриваемый метод не привязан ни ко времени воздействия высоких температур, ни к их значениям. Указанное означает, что перспективным с точки зрения адаптации описанного выше метода к применяемым в Республике Беларусь типам гипсовых плит является проведение исследования соответствующих типов данного материала с последующим сопоставлением полученных результатов с результатами рассмотренной работы.

Второй метод визуальной оценки степени термического повреждения гипсовых плит основывается на анализе глубины прокаливания материала. В работе [9] предполагалось, что данную величину можно оценить визуально по наличию линии демаркации на

поперечном сечении плиты гипсовой, наличие которой обусловлено тем, что прокаленный гипс имеет цвет, отличающийся от непрокаленного (рис. 2).

Однако данный метод не нашел широкого применения, во-первых, по причине достаточной трудоемкости и длительности, а во-вторых, в связи с тем, что на срезе гипсовой плиты указанные признаки могут вводить в заблуждение оператора из-за наличия частиц дыма, впитавшихся в поверхность материала [10]. К тому же нет подтверждений корреляции изменения цвета поперечного сечения материала с его прокаливанием [11].

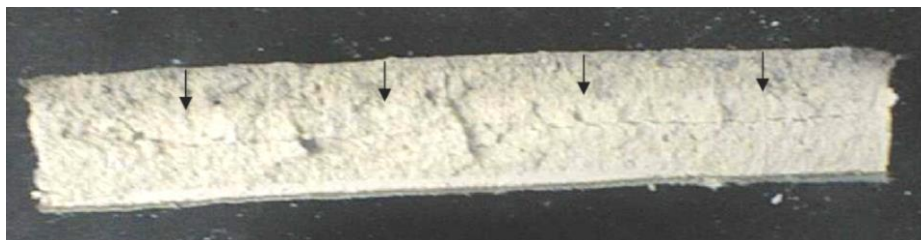


Рисунок 2. – Оценка глубины прокаливании визуальным методом [9]

Инструментальные методы оценки степени термического воздействия на конструкции, выполненные с применением гипсовых плит, можно разделить на методы, связанные непосредственно с исследованием гипсовой плиты, и на метод исследования металлического каркаса, на которые она крепится.

В работе [12] установлена возможность применения магнитного метода, основанного на определении коэрцитивной силы для образцов металлического каркаса гипсовых плит при определении очага пожара. Показано, что при увеличении температуры нагрева от 200 до 800 °С происходит уменьшение коэрцитивной силы, что свидетельствует о структурных превращениях в образцах металлического каркаса, на который крепится гипсовая плита. Результаты, полученные с применением указанного метода, могут являться источником соответствующей информации для формирования выводов по размещению очага пожара. Метод применим в случае полного разрушения плит гипсовых на месте пожара, либо при обеспечении физического доступа к металлическому каркасу, т.е. для проведения измерений необходимо из соответствующих участков удалить гипсовые плиты.

Для оценки температуры нагрева гипсовых плит при пожаре возможно применение метода термического анализа, при котором в определенных зонах отбирают пробы гипса (5–10 г на глубину 3–5 мм), которые после соответствующего оформления направляются на лабораторные исследования [1].

В работе [10] описан метод ручного соскабливания *hand scraping*. Данный метод сводится к тщательному удалению прокаленного слоя гипса с поверхности гипсовой плиты, подверженной термическому воздействию пожара, до слоя непрокаленного гипса. Исследование проводится оператором вручную. Затем производится измерение удаленного слоя гипса (рис. 3). На основании полученных значений глубины прокаливании делается вывод о степени термических повреждений гипсовой плиты. Указанный метод имеет достаточно высокую точность, однако требует высокой квалификации оператора, т.к. в большей степени полученный результат измерения зависит от навыка исполнителя.

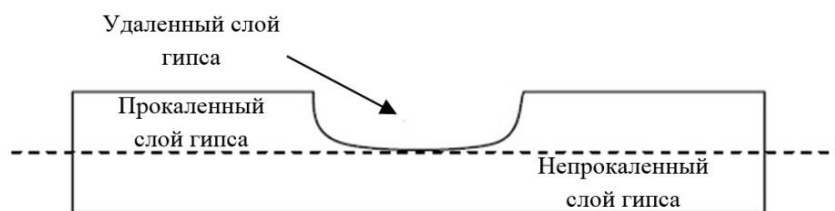


Рисунок 3. – Пример применения метода ручного соскабливания *hand scraping* для определения глубины прокаливании гипсовой плиты

За рубежом применяется метод измерения глубины прокалывания гипсовой плиты. Методика применения данного метода закреплена в руководстве по расследованию пожаров и взрывов<sup>5</sup>, а сам метод носит название «зондовый метод». Данный метод основан на измерении глубины введения зонда в гипсовую плиту. В качестве измерительных устройств рекомендуется применять штангенциркуль либо глубиномер. Более глубокие показания прокалывания указывают на более длительный или более интенсивный нагрев материала и более высокие температуры, чем те области плиты гипсовой, которые подвергались меньшим воздействиям. Некоторые ключевые переменные факторы влияют на достоверность анализа глубины прокалывания. Эти факторы включают:

– рассмотрение одного или нескольких источников зажигания или пожарной нагрузки, создающих очаговые признаки, в местах нахождения которых следует проводить измерения;

– сравнение измерений глубины прокалывания только для одного и того же материала. Гипсовые плиты бывают разной толщины, изготавливаются из разных строительных материалов и изменяются со временем. Оператор должен внимательно рассмотреть участки стен или потолков, в которые, возможно, были вставлены другие фрагменты, например при ремонте;

– учет отделки гипсовых плит (например, краски, обоев, штукатурки и т.д.). Оператор должен учитывать, что некоторые из этих покрытий являются горючими и могут повлиять на исследуемые образцы;

– проведение исследований последовательно по всей площади исследуемых участков гипсовых плит с определенным интервалом (с шагом 0,3 м или менее) между точками измерения;

– учет возможных повреждений гипсовых плит, полученных во время тушения пожара. Например, смачивание гипсовых плит, подвергшихся термическому воздействию, может смягчить гипс до такой степени, что невозможно будет произвести надежные измерения<sup>6</sup>.

Непосредственно NFPA 921 содержит лишь обобщенные сведения по методике проведения измерений и используемой для этого приборной базе: «...площадь поперечного сечения используемого зонда должна быть относительно маленькой (1,9–3,1 мм<sup>2</sup>)...», «...зонд можно прикрепить к датчику силы, чтобы обеспечить равномерное давление (усилие) на наконечнике зонда во время каждого измерения...», «...следует проявлять осторожность, чтобы использовать приблизительно одинаковое давление (800 до 900 г/мм<sup>2</sup>) для каждого измерения...» и т.д.

Устройство, обеспечивающее автоматизацию измерения глубины прокалывания гипсовых плит, т.е. нивелирование субъективного фактора при проведении исследований, предложено в работе [10]. Измерительный зонд вводится в гипсовую плиту под действием спиральной пружины с постоянным давлением. Автором определен диаметр зонда, равный 1,45 мм, а также оптимальное давление, обеспечивающее измерение глубины прокалывания, – 4,04 Н/мм<sup>2</sup>. Аналогичное устройство исследовано в работе [14]. Отличиями в предложенной в работе модификации измерителя является диаметр зонда равный 2 мм, а также прилагаемое давление – 8,6 Н/мм<sup>2</sup>. В указанных работах отсутствует информация по учету отделки поверхности гипсовых листов (обоев, шпатлевки и т.д.).

В работе [13] при исследовании глубины прокалывания применен штангенциркуль, глубиномер которого вводится под воздействием винтовой пружины.

Применение данного типа пружины было исследовано в работе [10], в которой автор обосновал некорректность ее использования, т.к. основным условием при проведении

<sup>5</sup> См. сноску 4.

<sup>6</sup> См. сноску 5.

измерения глубины прокаливания является необходимость создания постоянного давления, что не обеспечивает указанный вид пружины.

В работах [6] и [11] в качестве устройства измерения глубины прокаливания применен динамометр сжатия с присоединенным измерительным зондом. Порядок измерения следующий: зонд устанавливается на поверхность термически поврежденной гипсовой плиты, производится нажатие с усилием, достаточным для проникновения зонда в глубину материала, оператор контролирует прилагаемое усилие до момента его увеличения. Последнее означает достижение зондом слоя неповрежденного гипса. Параметры устройства в указанных работах сопоставимы. В работе [6] принят зонд площадью поперечного сечения  $3,12 \text{ мм}^2$ , прилагаемое давление составляет  $9 \text{ Н/мм}^2$ , в работе [11] соответственно –  $3,46 \text{ мм}^2$  и  $8,6 \text{ Н/мм}^2$ . В предложенном в работах [6], [11] методе измерения глубины прокаливания не исключается субъективность в процессе исследования степени термических повреждений.

С учетом того что в отечественной практике зондовый метод не применяется, очевидна перспективность проведения исследований по установлению зависимостей степени термического повреждения конструкций, выполненных с применением различных типов гипсовых плит, наиболее широко представленных на рынке Республики Беларусь. Одним из вариантов технического устройства, которое может быть применено для решения указанной задачи, может быть приспособление, примененное в работе [15] для определения поверхностной твердости ячеистого газобетона. Указанное устройство практически исключает субъективный фактор при проведении измерений.

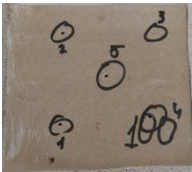

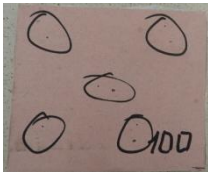
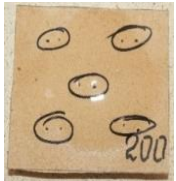
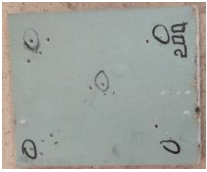
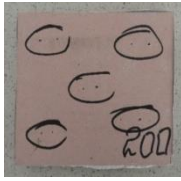



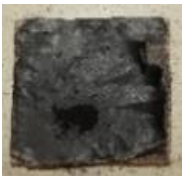

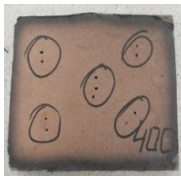





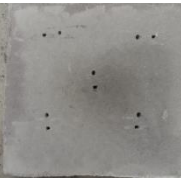




**Экспериментальные исследования изменения внешнего вида поверхности гипсовой плиты при воздействии на нее высоких температур.** Исследования проводились в лабораторных условиях. В качестве исследуемого материала были приняты 3 типа гипсовых плит: стандартная (далее – ГКЛ), влагостойкая типа Н (далее – ГКЛВ) и плита гипсовая с повышенной стойкостью гипсового сердечника при воздействии открытого пламени типа F<sup>7</sup> (далее – ГКЛО). Толщина всех типов материала – 12,5 мм.

Исследуемые образцы плит изготавливали одинаковых размеров  $100 \times 120 \text{ мм}$  и нагревали в камерной электропечи SNOL-8,2/1100 с цифровым терморегулятором. Методика проведения исследований предусматривала 8 серий испытаний и включала изотермический нагрев образцов от  $100$  до  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  (с шагом в  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ). В камерной электропечи образцы устанавливались на металлический каркас (профиль) без крепления и обогрев осуществлялся со всех сторон.

В холодную камерную электропечь, имеющую температуру окружающей среды, помещали образец и прогревали до заданной температуры. При температуре испытания образец выдерживали в течение 10 мин, затем его извлекали из печи. Охлаждение образцов осуществлялось без дополнительного обдува. Внешний вид образцов плит гипсовых после температурного воздействия приведен на рисунке 4.

Из представленных фотографий видно, что до температуры  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  заметных, визуально наблюдаемых изменений на поверхности образцов плит гипсовых не происходит. Начиная с температуры  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , происходит потемнение картона, наблюдается его обугливание по краям образца. При температуре  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  картон карбонизируется, пузырится и отслаивается (за исключением ГКЛО), что совпадает с результатами работы [10] ( $412 \text{ }^\circ\text{C}$ ). При температуре воздействия  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  картон полностью выгорел, на поверхности имеются следы сажи, а при последующем определении глубины прокаливания произошло разрушение образца 2-5.

<sup>7</sup> См. сноску 3.

Температура в печи, °С	Тип гипсовых плит		
	ГКЛ	ГКЛВ	ГКЛО
100	 1-1	 2-1	 3-1
200	 1-2	 2-2	 3-2
300	 1-3	 2-3	 3-3
400	 1-4	 2-4	 3-4
500	 1-5	 2-5*	 3-5
600	 1-6	 2-6	 3-6
700	 1-7*	образец разрушился в печи 2-7	 3-7*
800	 1-8*	образец разрушился в печи 2-8	 3-8*

\*повреждено при определении глубины прокаливания

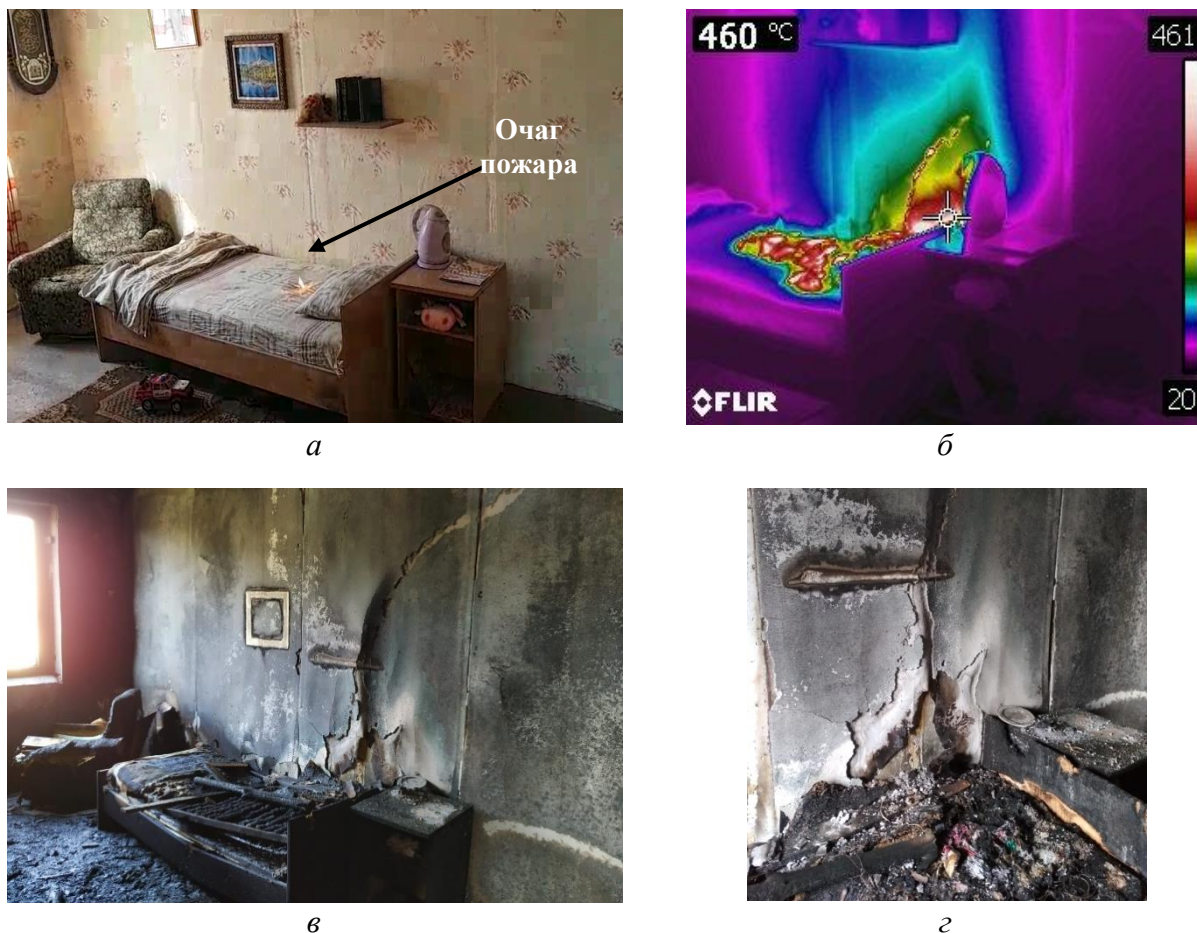
Рисунок 4. – Внешний вид образцов гипсовых плит после термического воздействия



Воздействие температуры 600–800 °С привело к разрушению образцов 2-6, 2-7 и 2-8 ГКЛВ непосредственно в камерной электропечи. При данном диапазоне температур на поверхности ГКЛ и ГКЛО следов сажи не наблюдается. Определение глубины прокаливания привело к механическому разрушению образцов 1-7, 1-8 ГКЛ и 3-7, 3-8 ГКЛО. Последнее свидетельствует о фактической потере прочности исследуемых материалов.

Результаты, полученные при проведении лабораторных исследований, сравнивали с натурным экспериментом, который представлял собой исследование развития пожара в жилой комнате. Отделка перегородок помещения была выполнена из гипсовых плит типа ГКЛВ без крепления на металлический каркас (профиль). В помещении размещалась типовая пожарная нагрузка (предметы мебели, бытовые приборы, ковровое покрытие и т.д.). Внешний вид помещения до испытаний представлен на рисунке 5а. Горение инициировалось на кровати, размещенной у северной стены помещения. На рисунке 5б приведено изображение, полученное на тепловизоре в ходе проведения эксперимента.

Максимальные значения температуры, зафиксированные на поверхности стены, составляли 450–500 °С. На рисунках 5в и 5г приведены изображения очага пожара после проведения исследования.



а – внешний вид помещения до проведения исследований; б – изображение, полученное на тепловизоре в ходе проведения эксперимента; в и г – изображения очага пожара после проведения исследования  
**Рисунок 5. – Помещение, в котором проводились исследования динамики развития пожара**

Сравнивая результаты натурального эксперимента с результатами, полученными в ходе лабораторных исследований, можно сделать вывод об их сопоставимости. Максимальные термические повреждения соответствуют внешнему виду ГКЛВ, полученному в ходе нагрева в печи в диапазоне 400–500 °С. Проведенные исследования позволили сопоставить полученные результаты с индикаторами повреждения гипсовых плит, определенными в методике [8] (табл. 2).

На рисунке 6 приведен пример применения рассматриваемой методики визуальной оценки термического повреждения гипсовых плит. На рисунке 6а представлен фрагмент панорамы помещения (часть северной стены, восточная стена и часть южной стены), в котором проводился натурный эксперимент. На рисунке 6б изображено распределение повреждений в соответствии с индикаторами (для простоты восприятия индикаторы обозначены различными цветами). Исходя из полученного распределения значений индикаторов по поверхности стен, можно сделать однозначный вывод, что максимальное термическое повреждение гипсовых плит наблюдается на участке северной стены помещения (на рисунке 6а – слева), непосредственно примыкающей к кровати, на которой инициировалось горение. Указанное подтверждает место расположения очага пожара, предусмотренного планом проведения натурного эксперимента.

**Таблица 2. – Значения температуры на поверхности гипсовых плит, эквивалентные индикаторам повреждения согласно методике [8]**

Степень повреждения, отн. ед.	Приблизительная температура на поверхности плит гипсовых, °С		
	ГКЛ	ГКЛВ	ГКЛО
0	100–200	100–200	100–300
1	Не исследовалась	Не исследовалась	Не исследовалась
2	200–300	200–300	300–400
3	300–400	300–400	400–500
4	400–500	400–500	500–600
5	500–700	400–500	600–700
6	>700	>500	>700
N/A	–	–	–

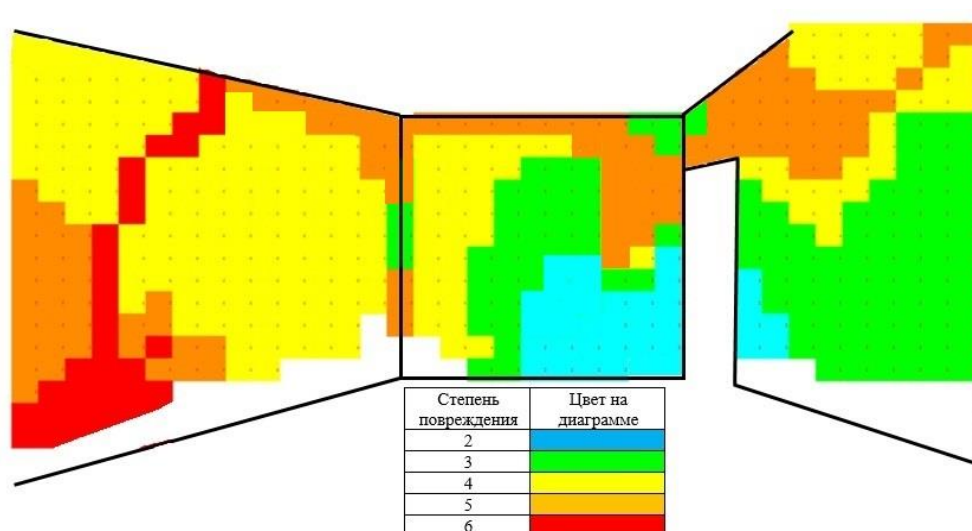
*Примечание.* Признаки индикатора «1» не исследовались, т.к. их формирование происходит в условиях горения либо пожара.

К недостатку рассматриваемого метода можно отнести низкую степень информативности индикаторов повреждения при достаточно невысоких температурах воздействия на гипсовые плиты. Как было установлено в проведенных лабораторных исследованиях, при нагреве плит гипсовых типа ГКЛ и ГКЛВ до 300 °С, а ГКЛО – до 400 °С, внешние признаки повреждений материала выявить достаточно сложно. Аналогичная проблема характерна при нагреве до температур в диапазоне 600–800 °С для ГКЛ и ГКЛО. Возможным решением указанной проблемы может являться применение инструментальных методов исследования.



а – фрагмент панорамы помещения

**Рисунок 6. – Пример применения методики визуальной оценки термического повреждения плит гипсовых**



б – распределение повреждений гипсовых плит  
**Рисунок 6. – Пример применения методики визуальной оценки термического повреждения плит гипсовых**

### Заключение

Обзор литературных источников показал, что перспективными методами оценки полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных из гипсовых плит, являются визуальный метод оценки, основанный на анализе выявленных повреждений поверхности гипсовых плит и сопоставлении их с известными стадиями его повреждения вследствие воздействия высоких температур, а также инструментальные методы оценки глубины прокаливания материала.

Проведенные лабораторные исследования по изменению внешнего вида поверхности плит гипсовых при воздействии на них высоких температур и последующее сравнение полученных результатов с результатами натурального эксперимента по исследованию динамики пожара в жилом помещении показали достаточно высокую степень совпадения.

С целью экстраполяции известного метода визуальной оценки внешних повреждений гипсовых плит, полученных в условиях пожара, на наиболее широко представленные на рынке Республики Беларусь типы данного материала проведена ее адаптация, заключающаяся в определении диапазонов температур воздействия на поверхность трех типов плит гипсовых, эквивалентных индикаторам повреждения материала, установленным в указанном методе.

Метод визуальной оценки термического повреждения гипсовых плит имеет низкую степень информативности индикаторов повреждения при достаточно невысоких температурах воздействия на материал (для ГКЛ и ГКЛВ до 300 °С, а ГКЛО – до 400 °С), а также при нагреве ГКЛ и ГКЛО до температур в диапазоне 600–800 °С.

Указанное определяет перспективность проведения исследований по установлению зависимостей степени полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных с применением различных типов гипсовых плит, наиболее широко представленных на рынке Республики Беларусь, с использованием инструментальных методов контроля.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чешко, И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие / И.Д. Чешко. – М.: ВНИИПО, 2002. – 330 с.
2. Мельников, В.С. Пожарно-структурная экспертиза повреждений теплоизоляционных материалов из минеральной ваты и пенополиизоцианурата [Электронный ресурс] / В.С. Мельников

- [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – Т. 8, № 3. – 52 с. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/96TVN316.pdf>. – Дата доступа: 01.09.2022. – EDN: WIRKGL.
3. Paulik, F. Thermal decomposition of gypsum / F. Paulik, J. Paulik, M. Arnold // *Thermochimica Acta*. – 1992. – Vol. 200. – P. 195–204. – DOI: 10.1016/0040-6031(92)85115-C.
  4. Kolaitis, D.I. Fire behaviour of gypsum plasterboard wall assemblies: CFD simulation of a full-scale residential building / D.I. Kolaitis, E.K. Asimakopoulou, M.A. Founti // *Case Studies in Fire Safety*. – 2019. – Vol. 7. – P. 23–35. – DOI: 10.1016/j.csfs.2016.11.001.
  5. Zehfub, J. Gypsum plasterboards under natural fire – Experimental investigations of thermal properties / J. Zehfub, L. Sander // *Civil Engineering Design*. – 2021. – Vol. 3, Iss. 3. – P. 62–72. – DOI: 10.1002/cend.202100002.
  6. Mann, D.C. Studies of the Dehydration / Calcination of Gypsum Wallboard / D.C. Mann, N.D. Putaansuu // *Proceedings of the 11th Conference and Exhibition «Fire and Materials – 2009»*, San Francisco, California, USA, January 26–28, 2009. – UK, London: Interscience Communications Ltd, 2009. – P. 827–838.
  7. Холевчук, А.Г. Зарубежные подходы к определению степени ущерба в судебной пожарно-технической экспертизе / А.Г. Холевчук // *Естественно-гуманитарные исследования*. – 2017. – № 15 (1) – С. 44–49. – EDN: YIZLYH.
  8. Gorbett, G.E. A new method for the characterization of the degree of fire damage to gypsum wallboard for use in fire investigations / G.E. Gorbett [et al.] // *Journal of forensic science*. – 2015. – Vol. 60. – P. 193–196. – DOI: 10.1111/1556-4029.12616.
  9. Posey, J.E. Using Calcination of Gypsum Wallboard to Reveal Burn Patterns / J.E. Posey, E.P. Posey // *Fire and Arson Investigator Journal*. – 1983. – Vol. 93. – P. 17–19.
  10. Ngu, Chu Nguong. Calcination of gypsum plasterboard under fire exposure: fire engineering research report 04/6 May, 2004 / Chu Nguong, Ngu; Department of Civil Engineering of University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. – 127 p. – DOI: 10.26021/1689.
  11. Mealy, Ch.L. A Study of Calcination of Gypsum Wallboard / Ch.L. Mealy, D.T. Gottuk // *Proceedings of the 5th International Symposium on Fire Investigation Science and Technology*. – USA, Sarasota, 2012 – P. 427–438.
  12. Малышева, С.Ф. Исследование каркаса гипсокартона магнитным методом при производстве пожарно-технической экспертизы / С.Ф. Малышева, Г.В. Плотникова // *Вестник Восточно-Сибирского института МВД России*. – 2017. – № 2 (81) – С. 114–123. – EDN: ZBAXOV.
  13. Fowlie, E.A. Experimental and Numerical Investigation of Gypsum Calcination Under Fire Exposure / E.A. Fowlie [et al.] // *Proceedings of the 12th U.S. National Combustion Meeting (Virtual)*, Texas, May 24–26, 2021 / Central States Section of the Combustion Institute and Texas A&M University. – Texas: 2021. – 10 p.
  14. Gorbett, G.E. Use of damage in fire investigation: a review of fire patterns analysis, research and future direction / G.E. Gorbett [et al.] // *Fire Science Reviews*. – 2015. – Vol. 4. – Article 4. – 35 p. – DOI: 10.1186/s40038-015-0008-4.
  15. Волосач, А.В. Результаты экспериментальных исследований поверхностной твердости ячеистых бетонов, подвергшихся температурному воздействию, инденторами с углами раствора конуса 20–55° / А.В. Волосач, О.Г. Горовых // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 13–22. – DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.13. – EDN: YZVGBF.

**Перспективные методы оценки степени полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных с применением гипсовых плит**

**Promising methods for assessing the degree of thermal damage obtained under fire conditions made with the application of gypsum boards**

**Суриков Андрей Валерьевич**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра надзорной  
и профилактической деятельности,  
начальник кафедры

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: shurikoff@bk.ru

ORCID: 0000-0002-3659-7297

**Andrey V. Surikov**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Supervisory and Preventive Activities,  
Head of the Chair

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: shurikoff@bk.ru

ORCID: 0000-0002-3659-7297

**Зайнудинова Наталья Владимировна**

кандидат технических наук  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
промышленной безопасности, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: Zainudzinava@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1848-1562

**Natal'ya V. Zaynudinova**

PhD in Technical Sciences  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Industrial Safety,  
Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: Zainudzinava@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1848-1562

**Бойко Василий Павлович**

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра надзорной  
и профилактической деятельности,  
старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: pojarnik@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8032-2792

**Vasily P. Boyko**

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Supervisory and Preventive Activities,  
Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: pojarnik@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8032-2792

## PROMISING METHODS FOR ASSESSING THE DEGREE OF THERMAL DAMAGE OBTAINED UNDER FIRE CONDITIONS MADE WITH THE APPLICATION OF GYPSUM BOARDS

**Surikov A.V., Zaynudinova N.V., Boyko V.P.**

*Purpose.* To determine promising methods for assessing the degree of thermal damage to structures made using gypsum boards (hereinafter referred to as drywalls) received under fire conditions.

*Methods.* Analysis of the results of existing studies and methods for assessing the degree of thermal damage to structures made using drywalls under fire conditions. Laboratory studies of samples of gypsum boards in a muffle furnace under temperature exposure.

*Findings.* Based on the results of a review of literature sources, promising methods for assessing the degree of thermal damage to structures made with the use of drywalls were identified under fire conditions. The well-known method of visual assessment of drywall damage in case of fire was adapted for the purpose of its application on the territory of the Republic of Belarus. It has been experimentally established that the visual method for assessing the degree of thermal damage to various types of drywalls has low information content at certain temperature ranges.

*Application field of research.* The obtained research results can be used when examining a fire site to determine the source of the fire, propagation paths, conditions and dynamics of combustion development, as well as in the development of technical means for determining the degree of thermal damage to structures made from drywall sheets received under fire conditions.

*Keywords:* inspection of the fire site, gypsum board, thermal damage, calcination depth, fire source.

(The date of submitting: September 7, 2022)

### REFERENCES

1. Cheshko I.D. *Tekhnicheskie osnovy rassledovaniya pozharov* [Technical basis of fire investigation]: methodical manual. Moscow: VNIPO EMERCOM of Russia, 2002. 330 p. (rus)
2. Mel'nikov V.S., Kirillov S.V., Vasil'ev V.G., Vanin S.A., Potemkin S.A. Pozharno-strukturnaya ekspertiza povrezhdeniy teploizolyatsionnykh materialov iz mineral'noy vaty i penopolizotsianurata [Fire-structural examination of damages of thermal insulation materials from mineral wool and isocyanurate foam]. *Internet-journal «Naukovedenie»*, 2016. Vol. 8, No. 3. Pp. 1–52. (rus). Url: <http://naukovedenie.ru/PDF/96TVN316.pdf>. EDN: WIRKGL.
3. Paulik F., Paulik J., Arnold M. Thermal Decomposition of Gypsum. *Thermochimica Acta*, 1992. Vol. 200. Pp. 195–204. DOI: 10.1016/0040-6031(92)85115-C.
4. Kolaitis D.I., Asimakopoulou E.K., Founti M.A. Fire behaviour of gypsum plasterboard wall assemblies: CFD simulation of a full-scale residential building. *Case Studies in Fire Safety*, 2019. Iss. 7. Pp. 23–35. DOI: 10.1016/j.csfs.2016.11.001.
5. Zehfub J., Sander L. Gypsum plasterboards under natural fire – Experimental investigations of thermal properties. *Civil Engineering Design*, 2021. Vol. 3, Iss 3. Pp. 62–72. DOI: 10.1002/cend.202100002.
6. Mann D.C., Putaansuu N.D. Studies of the Dehydration / Calcination of Gypsum Wallboard. *Proc. 11th Conference and Exhibition «Fire and Materials 2009»*, San Francisco, California, USA, January 26–28, 2009. UK, London: Interscience Communications Ltd, 2009. Pp. 827–838.
7. Kholevchuk, A.G. Zarubezhnye podkhody k opredeleniyu stepeni ushcherba v sudebnoy pozharnotekhnicheskoy ekspertize [Foreign approaches to determining the degree of damage in judicial fire-technical examination]. *Natural-humanitarian studies*, 2017. No. 15 (1). Pp. 44–49. (rus). EDN: YIZLYH.
8. Gorbett G.E., Morris S.M., Meacham B.J., Wood C.B. A new method for the characterization of the degree of fire damage to gypsum wallboard for use in fire investigations. *Journal of forensic science*, 2015. Vol. 60. Pp. 193–196. DOI: 10.1111/1556-4029.12616.
9. Posey J.E., Posey E.P. Using Calcination of Gypsum Wallboard to Reveal Burn Patterns. *Fire and Arson Investigator Journal*, 1983. Vol. 93. Pp. 17–19.
10. Ngu, Chu Nguong. *Calcination of gypsum plasterboard under fire exposure: fire engineering research report 04/6 May, 2004*. Department of Civil Engineering of University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. 127 p. DOI: 10.26021/1689.

11. Mealy Ch.L., Gottuk D.T. A Study of Calcination of Gypsum Wallboard. *Proc. 5th International Symposium on Fire Investigation Science and Technology*. USA, Sarasota, 2012. Pp. 427–438. Url: <https://www.nafi.org/blog/a-study-of-calcination-of-gypsum-wallboard/>.
12. Malysheva S.F., Plotnikova G.V. Issledovanie karkasa gipsokartona magnitnym metodom pri proizvodstve pozharno-tehnicheskoy ekspertizy [The test of gypsum board frame by magnetic method in the performance of fire-technical examination]. *East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*, 2017. No. 2 (81). Pp. 114–123. (rus). EDN: ZBAXOV.
13. Fowlie E.A., Borth T., Gorbett G.E., Sezer H., Kozhumal Sh.P. Experimental and Numerical Investigation of Gypsum Calcination Under Fire Exposure. *Proc. 12th U.S. National Combustion Meeting, Texas, May 24–26, 2021*. Central States Section of the Combustion Institute and Texas A&M University; Texas, 2021. 10 p.
14. Gorbett G.E., Meacham B.J., Wood Ch.B., Dembsey N.A. Use of damage in fire investigation: a review of fire patterns analysis, research and future direction. *Fire Science Reviews*, 2015. Article 4. 35 p. DOI: 10.1186/s40038-015-0008-4.
15. Volosach A. V., Gorovykh O. G. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy poverkhnostnoy tverdsti yacheistyx betonov, podvergshikhsya temperaturnomu vozdeystviyu, indentorami s uglami rastvora konusa 20–55° [Results of experimental researches of surface hardness of cellular concretes exposed to temperature by indentors having 20–55° angles of cone opening]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 1. Pp. 13–22. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.13. EDN: YZVGBF.