

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТВЕРДОСТИ ГИПСОВЫХ ПЛИТ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ТЕПЛОМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОЖАРА

Суриков А.В., Зайнудинова Н.В., Гараев Ю.В.

*Цель.* Определить изменение динамической твердости гипсовых плит, обусловленное воздействием высоких температур, для установления применимости динамического индентирования конструкций, выполненных из данного материала, для проведения оценки степени полученных в условиях пожара термических повреждений.

*Методы.* Натурные огневые испытания гипсовых плит. Динамическое индентирование.

*Результаты.* Подтверждена возможность оценки изменения динамической твердости гипсовых плит, обусловленного воздействием повышенной температуры во время пожара, с применением метода динамического индентирования. На основании проведенных огневых испытаний каркасно-обшивной перегородки, выполненной из гипсовой плиты типа Н на стальном каркасе, приведены результаты определения изменения динамической твердости гипсовой плиты указанного типа. Помимо максимальной температуры на поверхности гипсовой плиты, значительное влияние на изменение глубины вдавливания инденторов оказывает время нагрева. Установлено, что на различных участках поверхности материала при значениях максимальных (120–130 °С) и средних (104–115 °С) температур при отличающемся времени нагрева значение глубины вдавливания индентора отличается в 1,5–2,0 раза.

*Область применения исследований.* Полученные результаты исследований могут быть применены при разработке методики установления очага пожара по степени термических поражений конструкций, выполненных с использованием гипсовых плит.

*Ключевые слова:* осмотр места пожара, гипсовая плита, термическое повреждение, ударно-импульсный метод, очаг пожара.

(Поступила в редакцию 1 марта 2024 г.)

### Введение

При осмотре места пожара для установления его очага лицом, производящим осмотр, осуществляется оценка термических повреждений строительных конструкций и материалов, проводимая, как правило, визуальным методом. В специальной литературе [1; 2] подробно рассмотрен метод определения очаговых признаков пожара на участке его возникновения, а также признаков направленности распространения горения. Указанный метод применяется в отношении конструкций и изделий, выполненных из неорганических строительных материалов, древесины и древесных композиционных материалов, металлоконструкций, обгоревших остатков полимерных материалов и лакокрасочных покрытий и т.д.

Визуальная оценка применима только в тех случаях, когда имеются очевидные поражения, обусловленные тепловым воздействием пожара (например, обугливание, прогары, деформация, расплавления и т.д.). В случае отсутствия явных визуальных признаков могут применяться специальные инструментальные методы. Однако следует отметить, что использование данных методов практикуется и в совокупности с визуальной оценкой. Например, при установлении очага пожара и направленности распространения горения путем оценки термических повреждений строительных конструкций, выполненных из древесины (оценка внешнего вида угля в совокупности с измерением глубины обугливания и электрического сопротивления углей) или бетона и железобетона (визуально определяемые участки осаждения сажи в совокупности с применением ультразвукового импульсного метода исследования бетонных и железобетонных конструкций).

Оценка полученных при пожаре термических повреждений визуальным методом характерна также для строительных конструкций, выполненных с применением гипсовых плит. Известно, что явные визуальные признаки (изменение цвета картона и его выгорание,

потеря целостности гипсовой плиты) формируются при достижении температуры на поверхности материала около 250–400 °С (в зависимости от типа материала – влагостойкого типа Н (далее – ГКЛВ) или с повышенной стойкостью гипсового сердечника при воздействии открытого пламени типа F (далее – ГКЛО)). Вместе с тем при относительно низких температурах (для ГКЛВ до 300 °С, а ГКЛО – до 400 °С) определить степень термического поражения плит визуально достаточно проблематично [3].

В работе [4] показана перспективность применения динамического индентирования для проведения оценки термического поражения конструкций, выполненных с применением гипсовых плит, что объясняется влиянием высоких температур на динамическую твердость материала. Непосредственно само динамическое индентирование представляет собой ударное внедрение индентора в испытуемый материал под действием однократного ударного импульса, создаваемого посредством специального разгонного устройства или силы тяжести.

Результаты представленных в работе [4] лабораторных исследований показали, что наиболее оптимальным для решения вышеуказанной задачи является применение инденторов цилиндрической формы с поперечным сечением 12,6 мм<sup>2</sup> при силе сжатия пружины разгонного устройства 130 Н.

В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных в полевых условиях и направленных на определение применимости динамического индентирования гипсовых плит для установления степени их термического повреждения в условиях пожара.

### Основная часть

**Огневые испытания.** Исследования проводились в помещении размерами 5,72×3,56×2,8 м, в котором три вертикальные ограждающие конструкции были выполнены из железобетона, а четвертая представляла собой каркасно-обшивную перегородку, выполненную из ГКЛВ на стальном каркасе, с проемом размером 2,1×0,86 м. ГКЛВ был прикреплен на каркас саморезами для гипсовых плит, шляпки которых были углублены в плиту на 4 мм. Шаг установки саморезов – 10–30 см. Швы на стыках плит усилены армирующей сеткой. Поверхность перегородки оштукатурена. Толщина штукатурки в местах с армирующей сеткой около 4 мм, толщина штукатурки ГКЛВ – 2 мм. Температура окружающей среды на начало испытания составила 18 °С.

Исследования состояли из двух опытов. В первом опыте (предварительном эксперименте) определялись зоны, подвергаемые меньшему тепловому воздействию от модельного очага пожара, с целью установления мест размещения термоэлектрических преобразователей (далее – ТП).

Во втором опыте измерение температуры на поверхности перегородки осуществлялось с применением ТП.

Схема помещения и размещения модельных очагов приведена на рисунке 1. В качестве пожарной нагрузки использовались бумага и древесина. Интервал времени от начала воспламенения до тушения модельного очага составлял 20 мин.

Внешний вид гипсовой перегородки после проведения первого опыта приведен на рисунке 2а. На изображении отчетливо видна сформированная воздействием пламени следовая картина термических поражений гипсовой плиты в форме перевернутого конуса. Подобные следы характерны для начальной стадии пожара либо являются проявлением относительно коротких пожаров и формируются при достаточно низком тепловыделении<sup>1</sup>. Следы, сформированные на поверхности перегородки (над модельным очагом по вертикали в углу помещения) и обусловленные контактом с ней конвективного потока, представляют собой зону с осажденной сажей без явных механических повреждений штукатурки и гипсовой плиты. Указанная зона имеет колоннообразную (столбчатую) форму.

<sup>1</sup> NFPA 921-2017. Guide for Fire and Explosion Investigations. – 425 p. – Par. 6.3.7.2.1

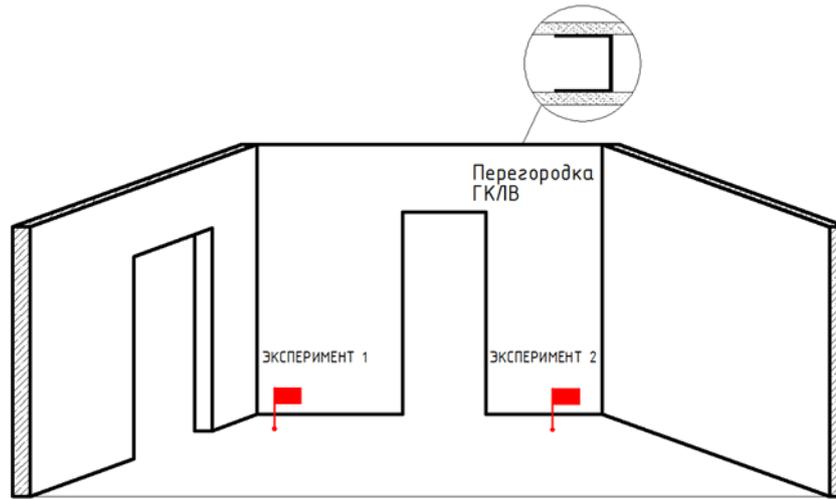


Рисунок 1. – Схема помещения и размещения модельных очагов

Поверхность плиты имеет несколько зон термических повреждений, которые можно дифференцировать следующим образом:

- зона 1 – зона без явных повреждений поверхности перегородки; на части поверхности, находящейся ближе к углу, образованному смежной стеной и перегородкой, имеются отложения сажи; на определенных областях поверхности, покрытой сажей, имеются светлые пятна, образованные в результате применения воды для тушения модельного очага пожара;
- зона 2 – зона с отслоившейся и разрушенной штукатуркой; поверхность облицовочного картона имеет темный (близкий к черному) цвет;
- зона 3 – зона с отслоившейся и разрушенной штукатуркой; поверхность облицовочного картона вспучена, имеются ее расслоения;
- зона 4 – зона с отслоившейся и разрушенной штукатуркой; облицовочный картон сгорел; поверхность гипсового сердечника имеет светло-серый цвет.

Распределение зон термических повреждений поверхности перегородки приведено на рисунке 2б.



а – термические повреждения ГКЛВ  
(на фото справа)



б – распределение зон с различными термическими повреждениями ГКЛВ

Рисунок 2. – Внешний вид гипсовой перегородки после первого испытания

На основании работы [5] зоны термического поражения перегородки были соотнесены с известными индикаторами визуальной оценки повреждений гипсовых плит, полученных в результате воздействия высоких температур, и примерной температурой на ее поверхности согласно работе [3]. Полученные результаты приведены в таблице 1 (в таблице: ИВОП – индикатор визуальной оценки повреждений гипсовых плит, полученных в результате воздействия высоких температур, отн. ед.;  $T_{\text{прим.}}$  – примерная температура на поверхности перегородки).

**Таблица 1. – Соотношение термических повреждений гипсовой перегородки и примерных температур на ее поверхности (с индикатора визуальной оценки повреждений гипсовых плит)**

Внешний вид отдельных зон гипсовой перегородки после первого опыта огневых испытаний	
 <p>Зона 1: ИВОП – 1; <math>T_{\text{прим.}}</math> до 200 °С</p>	 <p>Зона 2: ИВОП – 2; <math>T_{\text{прим.}}</math> = 200–300 °С</p>
 <p>Зона 3: ИВОП – 3; <math>T_{\text{прим.}}</math> = 300–400 °С</p>	 <p>Зона 4: ИВОП – 4; <math>T_{\text{прим.}}</math> = 400–500 °С</p>

*Примечание.* ИВОП:

1. Сажа оседает на поверхности: определенные области обесцвечиваются, но поверхность картона не повреждена.
2. Изменение цвета картона и выгорание органических компонентов 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].

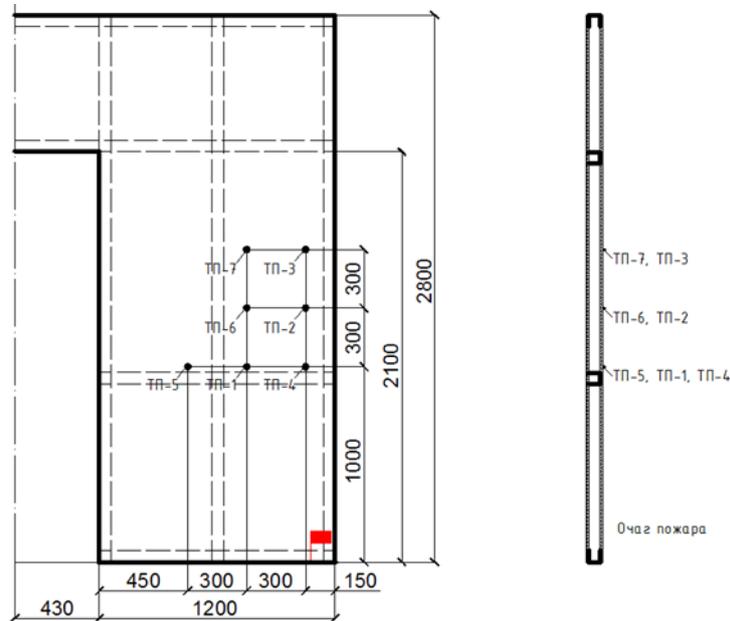
Дальнейшие исследования проводились исходя из необходимости определения степени термических повреждений ГКЛВ, которые не могут быть выявлены визуально, т.е. для случаев, когда поверхность гипсовой плиты не имеет явных идентификационных признаков, таких как изменение цвета либо выгорание облицовочного картона и т.д.

С учетом геометрии зон термических поражений, полученных в результате проведения первого опыта экспериментальных исследований, были определены точки установки ТП для проведения второго опыта. Схема размещения преобразователей приведена на рисунке 3.

Условия горения модельного очага пожара (количество пожарной нагрузки, время горения и т.д.) при проведении второго опыта были аналогичны условиям проведения предварительного эксперимента (рис. 4а). Полученная следовая картина (рис. 4б) термических поражений гипсовой перегородки в результате проведения второго опыта в целом совпадает

с результатами, полученными в первом опыте. Как и на предварительной стадии, на поверхности ГКЛВ имеется четко выраженный перевернутый конус, а по вертикали угла помещения наблюдается осаждение сажи, имеющее столбчатую форму.

На рисунке 4б видно, что в местах размещения ТП видимых термических повреждений нет, кроме осажденной сажи в местах размещения ТП-2, ТП-3 и ТП-4.



ТП-1–ТП-7 – преобразователи термоэлектрические для очага пожара 2; ■ – очаг пожара  
**Рисунок 3. – Схема расположения термоэлектрических преобразователей**



а – горение модельного очага пожара



б – внешний вид конструкций после тушения модельного очага пожара

**Рисунок 4. – Второй опыт проведенных экспериментальных исследований**

Полученные в ходе проведения эксперимента температурные зависимости от времени горения модельного очага пожара на поверхности гипсовой перегородки приведены на рисунке 5. Поскольку температура в заданной точке измерялась одним ТП (измерение прямое:

преобразование электрических сигналов, полученных измерителем-регулятором от ТП, осуществлялось автоматически), оценка случайной погрешности не проводилась, а граница погрешности результата измерений температуры принята равной границе неисключенной систематической погрешности. Неисключенная систематическая погрешность определялась погрешностями используемого оборудования, а именно ТП (погрешность измерения  $\pm 1,1$  °С при диапазоне измерения  $-40...+275$  °С) и измерителя-регулятора (погрешность измерения 0,5 % при диапазоне измерения  $-200...+1300$  °С), по ГОСТ 8.207-76<sup>2</sup>. Результат измерения температуры с учетом погрешности измерения примет вид:  $T = (195,0 \pm 1,6)$  °С,  $p = 95$  %.

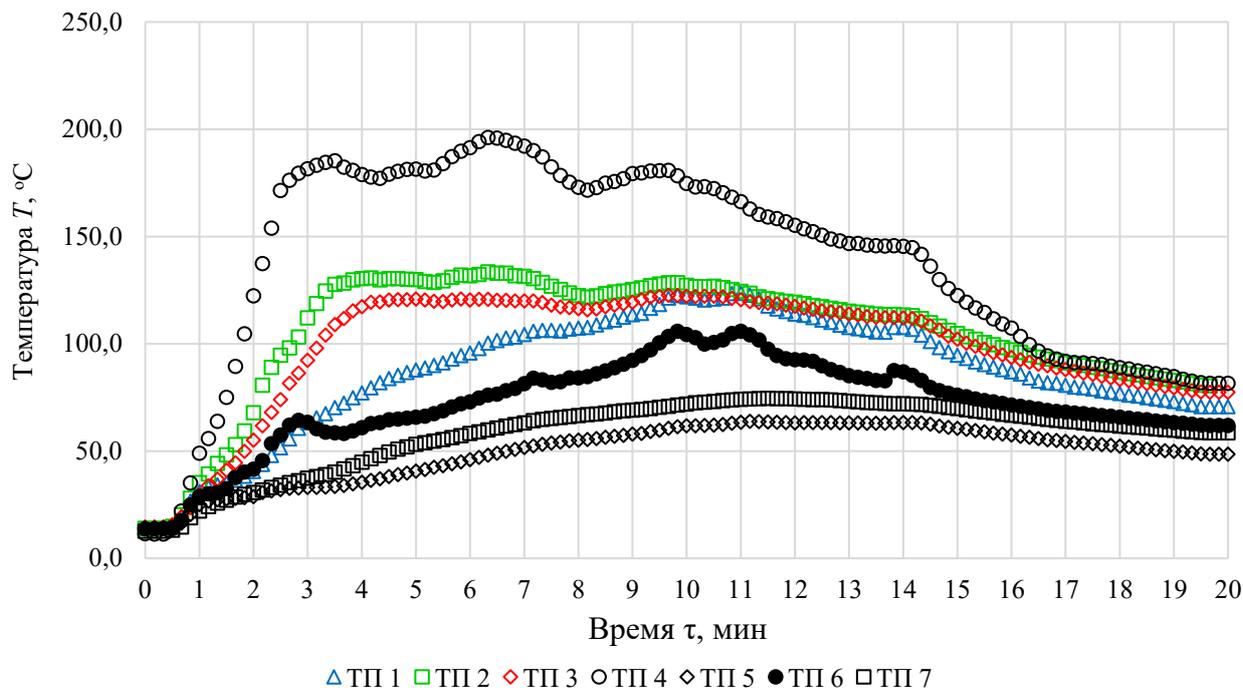


Рисунок 5. – Зависимости температуры на поверхности гипсовой перегородки от времени горения модельного очага пожара (очаг 2)

Наиболее интенсивный нагрев поверхности перегородки наблюдался в точках размещения ТП-2, ТП-3 и ТП-4, что объясняется движением конвективной колонки вдоль угла помещения, образованного гипсовой перегородкой и смежной стеной.

В точке размещения ТП-4 на 3 мин температура на поверхности достигла значения около 180 °С, затем фиксировалась относительная ее стабилизация вплоть до 10 мин с незначительным по времени (около двух минут) пиком, при котором температура поднималась до значения около 195 °С. Подобный характер распределения температур наблюдался и в точках размещения ТП-2 и ТП-3: в точке размещения ТП-2 на третьей с половиной минуте температура составила около 130 °С, а в точке размещения ТП-3 – около 120 °С на четвертой минуте горения модельного очага пожара.

Максимальные температуры в 123 и 106 °С, зафиксированные соответственно ТП-1 и ТП-6, достигли своих значений на 10-й мин горения. В точках размещения ТП-5 и ТП-7 температура не поднималась выше 75 °С, что ниже температуры начала реакции термического разложения гипса.

Во всех точках измерения после 10–14 мин (в зависимости от расположения ТП относительно угла помещения и высоты их установки) наблюдалось снижение температуры на поверхности перегородки, что объясняется выгоранием пожарной нагрузки.

<sup>2</sup> Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений: ГОСТ 8.207-76. – Введ. 01.01.77. – М.: Пост. Гос. ком. стандартов Сов. Мин. СССР, 1976. – 8 с.

**Исследование изменения динамической твердости ГКЛВ, обусловленной тепловым воздействием модельного очага пожара.** Исследование проводилось с применением метода динамического индентирования. Глубина вдавливания индентора  $h$  измерялась на участках поверхности гипсовой перегородки, на которых не было выявлено явных визуальных признаков термических повреждений, а также с учетом распределения температуры ее поверхности: по вертикали – начиная с высоты 1 м от уровня пола до высоты 1,6 м (высота размещения верхнего ряда ТП), по горизонтали – от угла помещения до ряда размещения ТП-1, ТП-6, ТП-7. На участке размещения ТП-5 измерения  $h$  не производились по причине низкого нагрева поверхности при горении модельного очага (максимальная температура не превышала 64 °С).

Индентирование производилось с использованием стального цилиндрического индентора с поперечным сечением 12,6 мм<sup>2</sup>, а также разгонного устройства, примененного в работе [6], при силе сжатия пружины 130 Н. Измерения глубины вдавливания проводились цифровым глубиномером с диапазоном измерений от 0 до 25,00 мм, ценой деления и погрешностью 0,01 мм.

Поверхность гипсовой перегородки была разделена на сетку с размером ячеек 0,05×0,05 м и отступом от угла помещения на 0,15 м. Таким образом были определены 104 контрольные точки для измерения. В каждой контрольной точке производилось по 5 измерений, при этом расстояние между центрами двух соседних отпечатков составляло не менее трех их диаметров. При проведении индентирования разгонное устройство плотно прижималось к поверхности перегородки, а усилие прикладывалось строго перпендикулярно.

Полученные средние значения  $h$  приведены в таблице 2. Погрешность измерений определялась согласно ГОСТ 8.207. В столбцах таблицы указаны результаты, полученные в точках по степени их приближения к углу помещения (столбец 1 – наиболее дальняя от угла контрольная точка, размещенная на расстоянии 0,5 м, столбец 8 – наиболее ближняя точка на расстоянии 0,15 м). Значения глубины вдавливания индентора в точках размещения ТП выделены курсивом.

Для простоты восприятия интервалы значений  $h$  обозначены различными цветами (красный при  $h \geq 4,0$  мм; оранжевый при  $4,0 \text{ мм} > h \geq 3,0$  мм; желтый при  $3,0 \text{ мм} > h \geq 2,5$  мм; зеленый при  $2,5 \text{ мм} > h \geq 2,0$  мм; синий при  $h < 2,0$  мм).

**Таблица 2. – Средние значения глубины вдавливания индентора**

Высота контрольной точки измерения от пола помещения, м	Глубина вдавливания индентора $h$ , мм							
	Точка измерения по горизонтали (интервал между точками 0,05 м)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1,60	2 ± 0,2	<b>2,1 ± 0,2<sup>7</sup></b>	1,8 ± 0,1	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0	2,1 ± 0,1	2,5 ± 0,5	<b>3,2 ± 0,5<sup>3</sup></b>
1,55	1,9 ± 0,1	2 ± 0,2	1,7 ± 0,3	1,8 ± 0	2 ± 0,2	2,3 ± 0,2	2,7 ± 0,1	3,2 ± 0,3
1,50	2 ± 0,2	1,9 ± 0,2	2 ± 0,2	1,7 ± 0,3	1,9 ± 0,2	2,2 ± 0	2,6 ± 0,1	3,1 ± 0,1
1,45	1,7 ± 0,3	1,8 ± 0,2	1,8 ± 0	1,7 ± 0,2	2 ± 0,3	2,5 ± 0,1	2,8 ± 0,2	3,3 ± 0,3
1,40	1,9 ± 0,2	1,8 ± 0,1	1,7 ± 0	1,7 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,8 ± 0,1	3,5 ± 0,1
1,35	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,1	1,8 ± 0,2	2,1 ± 0,3	2,6 ± 0	3,1 ± 0,1	3,5 ± 0,3
1,30	1,9 ± 0,3	<b>1,8 ± 0,1<sup>6</sup></b>	1,7 ± 0,2	2 ± 0,2	2,3 ± 0,1	2,6 ± 0,3	3,3 ± 0,1	<b>3,6 ± 0,3<sup>2</sup></b>
1,25	1,6 ± 0,1	1,7 ± 0,1	2,1 ± 0	2,1 ± 0,1	2,7 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,8 ± 0,2	4 ± 0,4
1,20	1,9 ± 0,1	1,8 ± 0	1,7 ± 0,1	2,1 ± 0,2	2,7 ± 0,1	3,4 ± 0,2	4 ± 0,3	4,4 ± 0,2
1,15	1,7 ± 0	1,8 ± 0,1	1,9 ± 0,1	2,4 ± 0,2	3 ± 0,2	3,3 ± 0,1	3,9 ± 0,2	4,3 ± 0,4
1,10	1,7 ± 0,1	1,4 ± 0,2	1,7 ± 0,1	2,3 ± 0	2,9 ± 0,1	3,5 ± 0,1	4 ± 0,1	4,3 ± 0,2
1,05	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,2	1,6 ± 0,2	2,4 ± 0,2	3,3 ± 0,2	4,2 ± 0,3	4,2 ± 0,1	4,3 ± 0,3
1,00	1,7 ± 0,1	<b>1,8 ± 0,2<sup>1</sup></b>	2,3 ± 0,2	2,9 ± 0	3,6 ± 0,1	4,2 ± 0,1	4,7 ± 0,1	<b>4,4 ± 0,2<sup>4</sup></b>

Примечание: 1 – точка размещения ТП-1; 2 – точка размещения ТП-2; ...; 7 – точка размещения ТП-7.

**Обсуждение результатов.** По приведенным данным в таблице 2 видно, что глубина вдавливания индентора увеличивается по мере приближения контрольной точки измерения к углу помещения. При этом максимальные значения  $h$  получены на участках перегородки,

находившихся в зонах наибольшего нагрева ГКЛВ. В порядке возрастания это участки размещения ТП-3, ТП-2, ТП-4. В сравнении с менее нагретыми участками глубина вдавливания индентора на указанных участках имеет значение, превышающее значение  $h$  в точках размещения ТП-1, ТП-6, ТП-7 в 1,5–2,5 раза.

Исходя из анализа распределения температур на поверхности ГКЛВ (рис. 5) и полученных значений  $h$ , следует отметить, что на изменение динамической твердости гипсовой плиты влияет временной фактор. В частности, это отчетливо видно при сравнении значений температур и времени нагрева, полученных в точках ТП-1, ТП-2 и ТП-3, и значений  $h$ . При относительно сопоставимых значениях максимальных температур на поверхности участков (ТП-1 – 123 °С, ТП-2 – 133 °С и ТП-3 – 123 °С) разница в глубине вдавливания индентора значительна (1,5–2,0 раза). Это объясняется именно временем нагрева участков. Если в точках ТП-2 и ТП-3 температура на поверхности перегородки во время горения модельного очага пожара достигла значения температуры начала реакции химического разложения гипса уже примерно через 2–2,5 мин и превышала указанное значение вплоть до 19-й мин испытания, то в точке ТП-1 она была зафиксирована на 4,5-й мин, а по окончании 16-й мин ее значение опустилось ниже температуры дегидратации гипса. При этом средняя температура нагрева участков ТП-2 и ТП-3 была несколько выше, чем в точке размещения ТП-1. Так, в указанных временных интервалах в точке ТП-2 средняя температура составила около 115 °С, в точке ТП-3 – 109 °С. В то же время в точке размещения ТП-1 значение средней температуры составило около 104 °С. Описанные результаты совпадают с результатами, полученными авторами настоящей статьи, в работе [4].

В целом отметим, что наблюдаемая следовая картина, интерпретируемая по данным таблицы 2, коррелирует со следовой картиной, полученной при анализе визуально определяемых признаков термических повреждений гипсовой перегородки (рис. 2б), и представляет собой не что иное, как перевернутый конус, что соответствует условиям проведенных огневых испытаний. Следовательно, можно констатировать, что для случаев, когда конструкции, выполненные с применением гипсовых плит, не имеют явно выраженных визуальных признаков воздействия высоких температур, исследование изменения динамической твердости материала с применением метода динамического индентирования дает возможность проведения оценки их термических повреждений.

### **Заключение**

Проведенные исследования подтвердили полученные ранее в лабораторных условиях выводы, что изменение динамической твердости гипсовых плит, обусловленное воздействием повышенной температуры во время пожара, может быть оценено с применением метода динамического индентирования.

Представленные результаты свидетельствуют, что помимо максимальной температуры на поверхности гипсовой плиты, значительное влияние на изменение глубины вдавливания инденторов оказывает время нагрева. В частности, при значениях максимальных (120–130 °С) и средних (104–115 °С) температур на различных участках поверхности материала разница в глубине вдавливания индентора составила 1,5–2,0 раза, что обусловлено именно временным фактором (нагрев до температур, превышающих значение начала реакции химического разложения гипса, на участках, где были получены большие значения, продолжался около 17 мин, тогда как на участках с меньшей глубиной – около 11,5 мин).

Полученные результаты наиболее актуальны для случаев, когда конструкции, выполненные с применением гипсовых плит, не имеют явно выраженных визуальных признаков воздействия высоких температур. Соответственно, исследование изменения динамической твердости материала дает возможность проведения оценки их термических повреждений.

Полученные результаты являются предпосылкой для разработки методики оценки термических повреждений рассматриваемых в настоящей статье строительных конструкций при осмотре места пожара, что позволит расширить спектр инструментария, применяемого

соответствующими должностными лицами при проведении оценки признаков очага пожара и его распространения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мегорский, Б.В. Методика установления причин пожаров / Б.В. Мегорский. – М.: Стройиздат, 1966. – 347 с.
2. Чешко, И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие / И.Д. Чешко. – М.: ВНИИПО, 2002. – 330 с.
3. Суриков, А.В. Перспективные методы оценки степени полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных с применением гипсовых плит / А.В. Суриков, Н.В. Зайнудинова, В.П. Бойко // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6, № 4. – С. 400–414. – DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-4.400. – EDN: ZYWQWU.
4. Суриков, А.В. Оценка возможности применения динамического индентирования гипсовых плит для установления степени полученных в условиях пожара термических поражений конструкций / А.В. Суриков [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2023. – Т. 7, № 2. – С. 164–177. – DOI: 0.33408/2519-237X.2023.7-2.164. – EDN: KWSHQS.
5. 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 Sciences. – 2015. – Vol. 60, Iss. s1. – P. 193–196. – DOI: 10.1111/1556-4029.12616.
6. 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.

**Исследование изменения динамической твердости гипсовых плит,  
обусловленного тепловым воздействием пожара**

**Research of changes in the dynamic hardness of gypsum boards  
under the influence of thermal effects of fire**

---

***Суриков Андрей Валерьевич***

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: shurikoff@bk.ru  
SPIN-код: 1163-6294

***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 Organization 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  
SPIN-код: 3032-4413

***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

---

***Гараев Юрий Владимирович***

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», оперативно-  
аналитический отдел, старший инспектор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: y.garaev@icloud.com  
SPIN-код: 8162-6836

***Yuriy V. Garaev***

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Operational and Analytical Department,  
Senior Inspector

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: y.garaev@icloud.com  
ORCID: 0000-0002-4980-2712

## RESEARCH OF CHANGES IN THE DYNAMIC HARDNESS OF GYPSUM BOARDS UNDER THE INFLUENCE OF THERMAL EFFECTS OF FIRE

Surikov A.V., Zaynudinova N.V., Garaev Yu.V.

*Purpose.* To determine the change in the dynamic hardness of gypsum boards caused by exposure to high temperatures in order to establish the applicability of dynamic indentation of structures made from this material to assess the degree of thermal damage received in fire conditions.

*Methods.* Full-scale fire tests of gypsum boards. Dynamic indentation.

*Findings.* The possibility of assessing changes in the dynamic hardness of gypsum boards caused by exposure to elevated temperatures during a fire using the dynamic indentation method has been confirmed. Based on the fire tests of a frame-sheathing partition using a gypsum board of type H on a steel frame, the results of determining the change in the dynamic hardness of a gypsum board of the specified type are presented. In addition to the maximum temperature on the surface of the gypsum board, the heating time has a significant influence on the change in the indentation depth of the indenters. It was established that in different areas of the material surface at values of maximum (120–130 °C) and average (104–115 °C) temperatures and different heating times, the value of the indentation depth of the indenter differs by 1.5–2.0 times.

*Application field of research.* The obtained research results can be applied in the development a method for identifying the source of a fire based on the degree of thermal damage to structures made using gypsum boards.

*Keywords:* inspection of the fire site, gypsum board, thermal damage, shock-pulse method, seat of fire.

(The date of submitting: March 1, 2024)

### REFERENCES

1. Megorskiy B.V. *Metodika ustanovleniya prichin pozharov* [Methodology for identifying the causes of fires]. Moscow: Stroyizdat, 1966. 347 p. (rus).
2. Cheshko I.D. *Tekhnicheskie osnovy rassledovaniya pozharov* [Technical basics of fire investigation]: tutorial. Moscow: VNIPO, 2002. 330 p. (rus).
3. Surikov A.V., Zaynudinova N.V., Boyko V.P. Perspektivnye metody otsenki stepeni poluchennykh v usloviyakh pozhara termicheskikh povrezhdeniy konstruksiy, vypolnennykh s primeneniem gipsovykh plit [Promising methods for assessing the degree of thermal damage obtained under fire conditions made with the application of gypsum boards]. *Journal of Civil Protection*, 2022. Vol.6, No. 4. Pp. 400–414. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-4.400. EDN: ZYWQWU.
4. Surikov A.V., Zaynudinova N.V., Boyko V.P., Garaev Yu.V. Otsenka vozmozhnosti primeneniya dinamicheskogo indentirovaniya gipsovykh plit dlya ustanovleniya stepeni poluchennykh v usloviyakh pozhara termicheskikh porazheniy konstruksiy [Evaluation of the possibility of using dynamic indentation of gypsum boards to determine the degree of thermal damage to structures received under fire conditions]. *Journal of Civil Protection*, 2023. Vol.7, No. 2. Pp. 164–177. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2023.7-2.164. EDN: KWSHQS.
5. 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 Sciences*, 2015. Vol. 60, Iss. s1. Pp. 193–196. DOI: 10.1111/1556-4029.12616.
6. Volosach A.V., Gorovykh O.G. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy poverkhnostnoy tverdsti yacheistykh 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.