

УДК 614.841.334.1

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАМЕНИ ПРИ ГОРЕНИИ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Пастухов С.М., Тетерюков А.В.

Разработана методика проведения экспериментальных исследований по определению геометрических параметров пламени при горении двускатной кровли, выполненной из горючих материалов. Проведен анализ существующих современных подходов по определению геометрических параметров пламени. В качестве объекта для экспериментальных исследований использовано типовое решение фрагмента двускатной кровли. Разработана схема расстановки измерительной аппаратуры для регистрации экспериментальных данных, а также выполнена компьютерная трехмерная модель двускатной кровли из горючих материалов.

*Ключевые слова:* противопожарный разрыв; геометрические параметры пламени; горючие кровельные материалы; экспериментальные исследования; моделирование.

(Поступила в редакцию 20 марта 2018 г.)

**Введение.** Анализ пожаров, произошедших в 2017 году, показал уменьшение их количества на 6,6 % (5307) по сравнению с аналогичным периодом 2016 года (5680). Наибольшее количество пожаров по местам возникновения приходится на здания для постоянного проживания и временного пребывания людей – 4367 пожаров, что составляет 82,3 % (2016 г. – 4683), из них 97,7 % (4267) приходится на жилой сектор, в основном здания Ф1.3 и Ф1.4 класса функциональной пожарной опасности (2016 г. – 4542). Количество пожаров в данных зданиях в текущем году снизилось на 6,1 % по сравнению с предыдущим годом [1]. Несмотря на некоторое снижение числа пожаров, общий, прямой и косвенный ущерб с каждым годом увеличивается. Жилой сектор в основном состоит из индивидуальных жилых домов, где в качестве отделки фасадов и кровли используются горючие материалы. Одним из таких горючих материалов является кровельное покрытие на основе модифицированного битума – гибкая битумная черепица, именно данный материал, как наиболее распространенный в использовании, был выбран в качестве объекта экспериментальных исследований.

Проведенный анализ существующих расчетных методик по определению противопожарных разрывов между зданиями [2–6] показал, что они не позволяют определять геометрические параметры излучающей поверхности от кровли, выполненной из различных горючих материалов. В существующих методиках приняты допущения, которые не учитывают геометрических параметров кровли. Детальные же исследования по определению геометрических параметров излучающей поверхности проводились для следующих случаев горения: автомобильного транспорта В.В. Зайцевым [7], резервуаров нефти Р.Ш. Хабибулиным [8], торговых павильонов Р.В. Мироненко [9] и наземного горючего материала хвойных насаждений П.Н. Гоманом [10]. Исследования В.В. Зайцева направлены на разработку методики оценки противопожарных разрывов между автомобилями и обоснования безопасного размещения автомобилей на стоянках [7]. В результате исследований автором получены экспериментальные данные о пожарной опасности автомобиля и геометрических параметрах излучающей поверхности при воздействии на него теплового излучения от модельных очагов пожара, разработан проект рекомендаций по нормированию противопожарных расстояний между автомобилями [7]. В результате исследований Р.Ш. Хабибулиным разработана методика расчета температурного поля горизонтального резервуара с нефтепродуктом при воздействии тепловых потоков от модельных очагов пожара. На основании экспериментальных исследований разработана математическая модель и программное обеспечение по определению нестационарного температурного поля горизонтального резервуара с нефтепродуктом, позволяющее определять противопожарные разрывы и прогнозировать пожароопасные ситуации на нефтегазовых объектах [8]. Исследования Р.В. Мироненко направлены на определение геометрических параметров пламени горящей пожарной нагрузки в виде островковой торговли в объеме многосветного помещения (атриума). Автором разработан алгоритм для определения ширины многосветного помещения, препятствующей распространению пожара из одной части здания в другую при нахождении в нем пожарной нагрузки [9]. В исследованиях П.Н. Гомана определены пространственно-временные параметры противопожарных

разрывов, в которых учитывается распределение лучистого теплового потока от протяженных фронтов пламени и воспламеняемость наземного горючего материала хвойных насаждений [10]. Полученная методика позволяет определять ширину противопожарного разрыва и время его защитного действия, обеспечивая надежную защиту лесного массива от низовых пожаров, в том числе в условиях аномально засушливой погоды.

С учетом вышеизложенного можно отметить, что детальных исследований по определению геометрических параметров излучающей поверхности при горении кровель, выполненных из горючих материалов, не проводилось. Таким образом, актуальным направлением исследований является проведение натуральных огневых испытаний для получения экспериментальных данных с целью уточнения существующей методики ТКП EN 1991-1-2-2009 [3] по оценке противопожарных разрывов между зданиями с кровлями, выполненными из горючих материалов, в части определения геометрических параметров излучающей поверхности.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- 1) разработать методику натуральных огневых испытаний экспериментального фрагмента двускатной кровли, выполненной из горючих материалов, которая включает в себя:
  - проектирование экспериментального фрагмента кровли на основе стропильной системы, выполненной из древесины, с покрытием из гибкой битумной черепицы, которая является наиболее распространенным кровельным материалом при строительстве современных жилых зданий;
  - разработку план-схемы расстановки измерительной аппаратуры для фиксации экспериментальных данных;
- 2) провести натурные огневые испытания фрагмента кровли;
- 3) осуществить регистрацию и обработку полученных данных геометрических параметров пламени, а также исследовать распределение температур на скатах исследуемого объекта;
- 4) провести анализ экспериментальных данных по распределению температур на различных расстояниях от излучающей поверхности с помощью термоэлектрических преобразователей для определения температурных градиентов.

**Планирование экспериментальных исследований.** На основании сбора и анализа информации для проведения экспериментальных исследований были выполнены модельные эксперименты по определению оптимальных размеров металлических теплоприемников для термоэлектрических преобразователей. Термоэлектрические преобразователи прикреплялись к металлическим пластинкам размером: 50×50 мм, 70×70 мм, 90×90 мм и 110×110 мм и устанавливались на расстоянии 500 мм от пламени горелки (рис. 1).

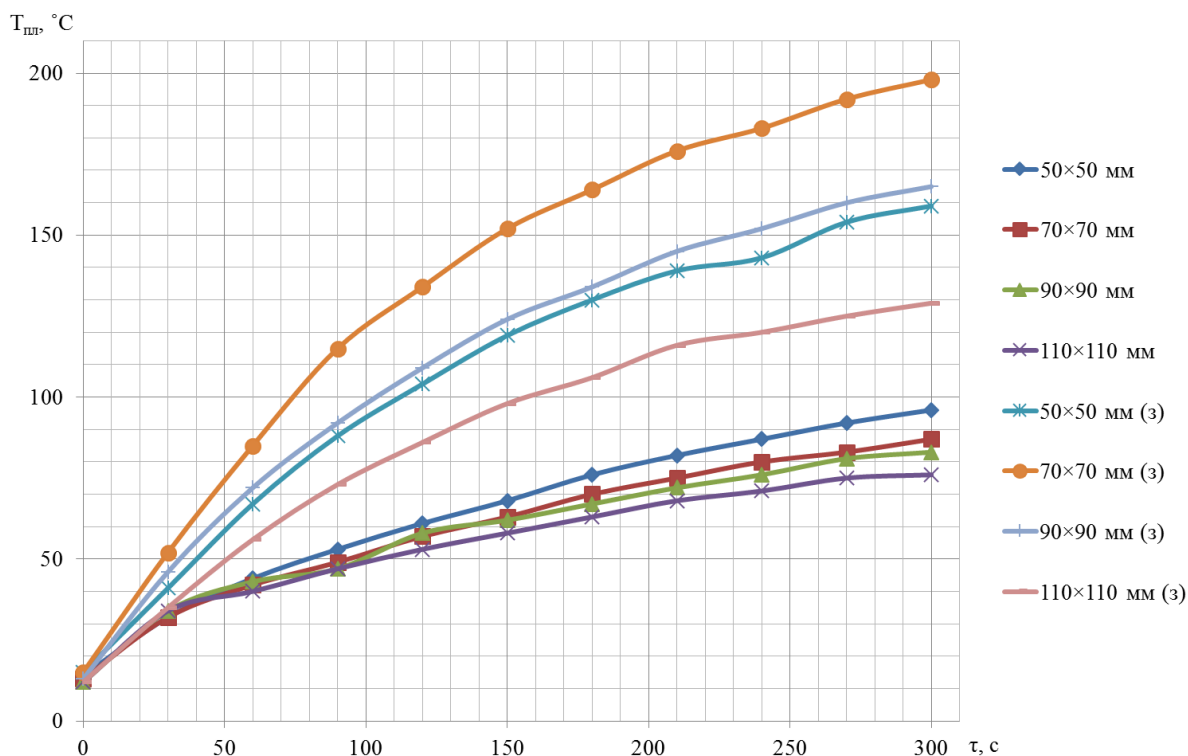


а) металлические пластины (теплоприемники)

б) вид пластины в сборе с термопарой

**Рисунок 1. – Опытные образцы теплоприемников**

Значения температур фиксировались с интервалом 30 с на протяжении 300 с. Также при проведении модельных экспериментов изменялась степень черноты поверхности исследуемых пластинок путем нанесения на них огнестойкой черной краски, данные пластинки на рисунке 2 имеют обозначение (з). Для определения степени черноты поверхности использовался дистанционный измеритель температуры марки Mastech MS6540B (далее – пирометр). Степень черноты поверхности изменялась до тех пор, пока температура на поверхности пластины не начинала соответствовать показаниям термоэлектрического преобразователя. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2. – Зависимости изменения температур от степени черноты поверхности и геометрических параметров образцов**

На основании данных, представленных на рисунке 2, в качестве теплоприемника были выбраны образцы с размерами 70×70 мм, выкрашенные в черный цвет (верхняя кривая на рис. 2), поскольку они показали наилучший результат прогрева (выхода на рабочие значения температурных измерений).

С целью оценки влияния угла наклона кровли на геометрические параметры излучающей поверхности был проведен анализ конструктивных исполнений кровель при проектировании и строительстве зданий Ф1.3 и Ф1.4. В свою очередь были рассмотрены методы испытаний для кровельных покрытий, изложенные в СТБ EN 13501-5-2011 [11]. В результате анализа выяснилось, что для всех методов испытаний характерны основные углы наклона кровли: 15°, 30° и 45°. Для определения влияния угла наклона кровли на геометрические параметры излучающей поверхности были изготовлены 3 модельных фрагмента с углом наклона: 15°, 30° и 45° (рис. 3).



**Рисунок 3. – Модельные экспериментальные образцы кровли с различным углом наклона**

Для определения исходных условий горения кровли в экспериментальных исследованиях принят наихудший вариант развития событий, а именно горение с наибольшей площадью излучающей поверхности. С этой целью были учтены два варианта:

- 1 – розжиг изнутри экспериментального фрагмента;
- 2 – розжиг снаружи экспериментального фрагмента.

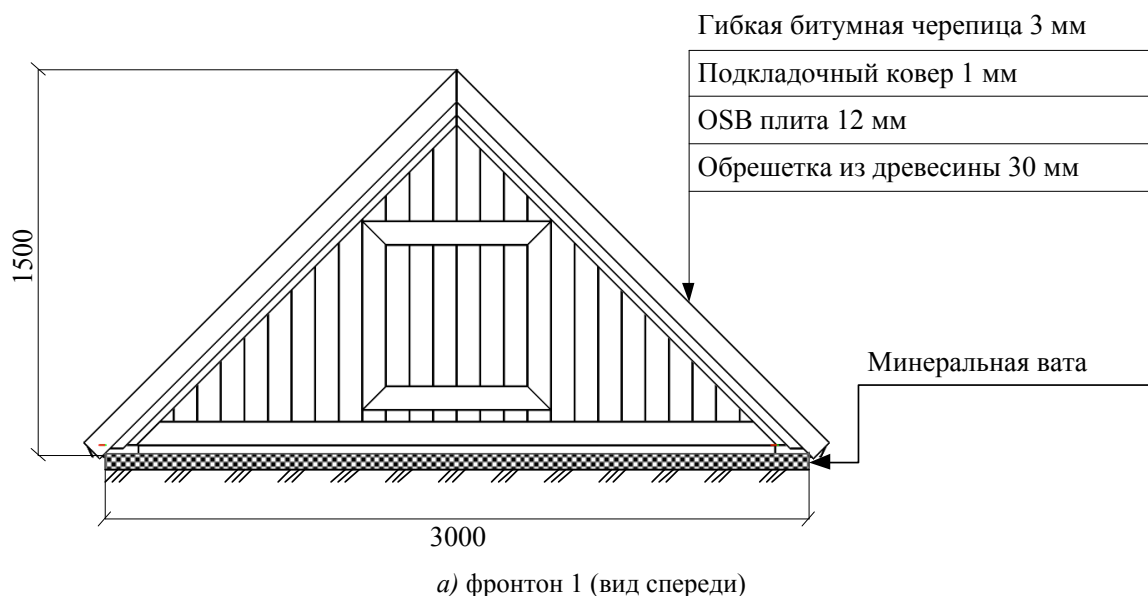
Для определения способа и места внесения источника зажигания были изготовлены модельные фрагменты двускатной кровли (рис. 4).

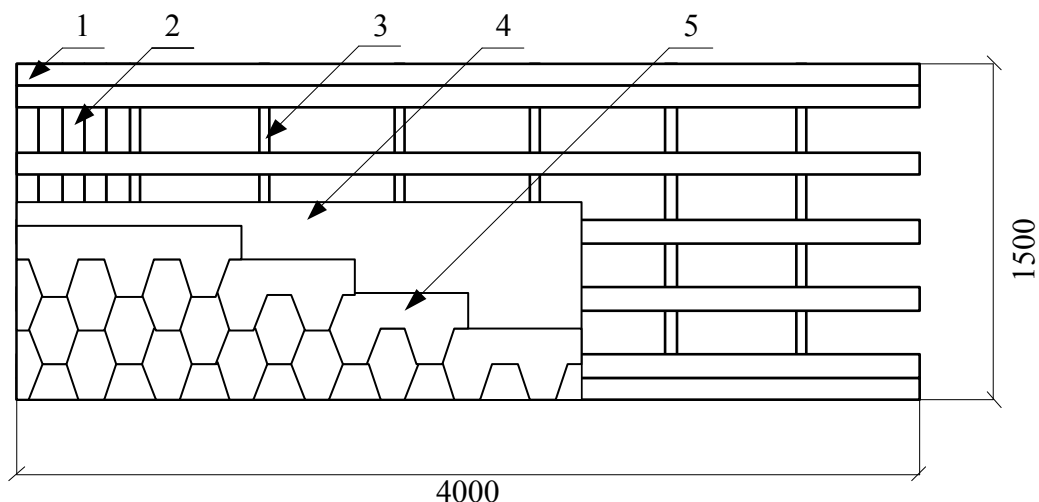


Рисунок 4. – Модельный фрагмент двускатной кровли

При реализации варианта 1 источник зажигания вносится внутрь экспериментального фрагмента, и моделируется развитие пожара в чердачном неэксплуатируемом объеме. Однако данный вариант может привести к преждевременному обрушению конструкции до момента выхода пламени на кровлю, выполненную из горючих материалов. Вариант 2 заключается в розжиге ската кровли с помощью легковоспламеняющихся жидкостей.

**Проектирование экспериментального фрагмента кровли.** В качестве объекта для экспериментальных исследований было использовано типовое решение фрагмента кровли с размерами в плане 3×4 м и высотой до конька кровли 1,5 м. Шаг и пролет между стропильными балками равен 0,6 м, ширина фронтального свеса – 0,5 м с каждой стороны (рис. 5). Мауэрлаты, стропильные балки, затяжки и ригели выполнены из древесины хвойных пород размерами 50×150×6000 мм, обрешетка из хвойных пород древесины размерами 30×100×6000 мм с шагом 200 мм (за исключением усиления на карнизном свесе и коньке кровли). На обрешетку укладывалась сплошная плита, выполненная из OSB панелей толщиной 12 мм, с подкладочным ковром (ANDEREP PROF). Карнизные и фронтальные планки выполнены из металла размерами 10×50×100×2000 мм и 15×65×100×2000 мм соответственно. Материал покрытия – рядовая гибкая битумная черепица, выполненная из стекловолокна, модифицированного битума и защитно-декоративной минеральной крошки, размерами 3×317×1000 мм (ТехноНИКОЛЬ 6S4X21-3337RUS). Карнизная черепица устраивалась путем деления рядовой черепицы на три равные части. Коньковая черепица выполнена из рядовой черепицы путем обрезки лепестков. Фронтоны заделывались древесиной из хвойных пород размерами 30×100×6000 мм. Данный фрагмент устанавливался на ровную площадку, с целью предотвращения дополнительного подсоса воздуха в нижней части кровли укладывалась минеральная вата, таким образом, экспериментальный фрагмент являлся точной копией двускатной кровли жилого дома.



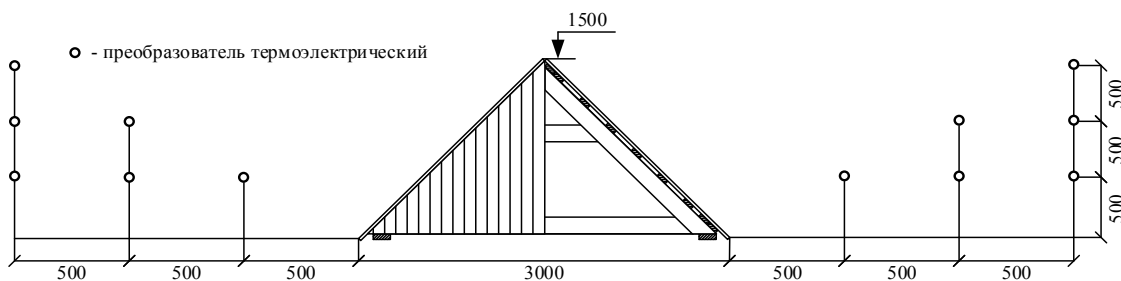


б) скат кровли (последние элементы, вид сбоку).

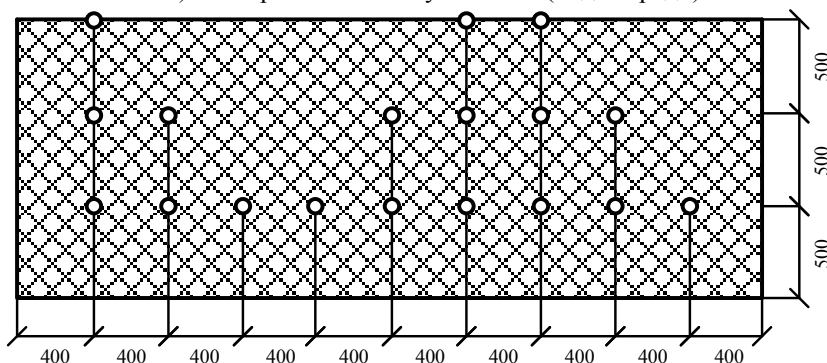
1 – обрешетка; 2 – подшивка свеса; 3 – стропила; 4 – OSB плита с подкладочным ковром;  
5 – гибкая битумная черепица

**Рисунок 5. – Экспериментальный фрагмент кровли**

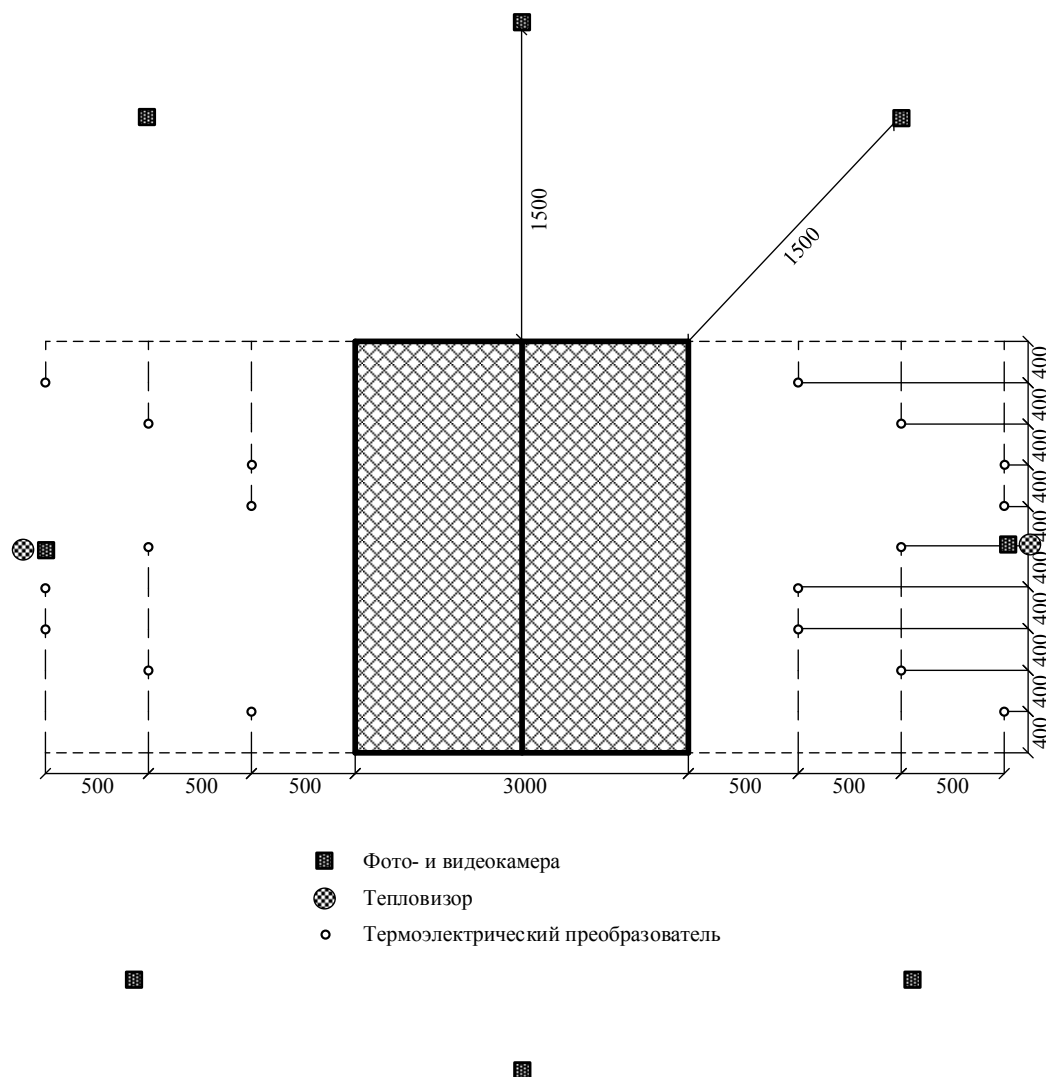
Для регистрации температур по обеим сторонам от экспериментального фрагмента двускатной кровли устроены площадки, на которые установлены хромель-алюмелевые термоэлектрические преобразователи ТХА-1199/-/51/-/2/250/-/3/6/-40...+1100 °С (далее – термопары). Установка термопар осуществляется на брусках 40×40×6000 мм из древесины хвойных пород с закрепленными тепловыми приемниками из металлического листа размерами 1×70×70 мм, в корпусе, выполненном из OSB плиты, глубина короба – 150 мм. Для защиты стоек из древесины от температурного воздействия предусмотрена защита из минеральной ваты. Термопары установлены в трех плоскостях через каждые 500 мм, шаг брусков в одном ряду – 400 мм, по высоте – 500, 1000 и 1500 мм соответственно (рис. 6). Таким образом, расстановка приборов обеспечивает контроль каждой точки шестью термопарами.



а) экспериментальная установка (вид спереди)



б) экспериментальная установка (вид сбоку)



в) экспериментальная установка (вид сверху)

Рисунок 6. – Схема установки измерительной аппаратуры

С целью визуализации экспериментального фрагмента двускатной кровли и расстановки измерительного оборудования в среде SolidWork выполнена трехмерная компьютерная модель, позволяющая определять распределение температурных полей и лучистого теплового потока на исследуемом объекте (рис. 7).

Дополнительно были установлены 2 устройства для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности (далее – тепловизор) экспериментального фрагмента двускатной кровли для определения фактических параметров излучающей поверхности.

**Порядок проведения экспериментальных исследований.** При проведении экспериментальных исследований планируется проведение визуальных наблюдений, а также фото- и видеосъемка процесса горения. На площадке устанавливаются 4 камеры для фиксации с каждой стороны экспериментального фрагмента. Фото- и видеосъемка используется для получения экспериментальных данных геометрических параметров пламени и, как следствие, определения фактической площади проекции излучающей поверхности от фрагмента двускатной кровли. Полученные данные необходимы для уточнения методики по определению геометрических параметров излучающей поверхности.

Перед началом эксперимента в плоскости исследуемого фрагмента двускатной кровли устанавливается размерная сетка высотой 3 м, шириной 4 м, размеры ячеек сетки –  $0,2 \times 0,2$  м, с целью последующей обработки экспериментальных данных по определению фактических геометрических параметров излучающей поверхности (рис. 8).

Во время проведения экспериментальных исследований регистрируются следующие параметры:

температура внутри исследуемого объекта ( $T_w$ );

температура на излучающей поверхности экспериментального фрагмента ( $T_r$ );

температура на расстоянии 500, 1000 и 1500 мм от плоскости горения экспериментального фрагмента ( $T_n$ );  
геометрические параметры пламени на основании фото- и видеосъемки;  
время обрушения экспериментального фрагмента ( $\tau_0$ ).

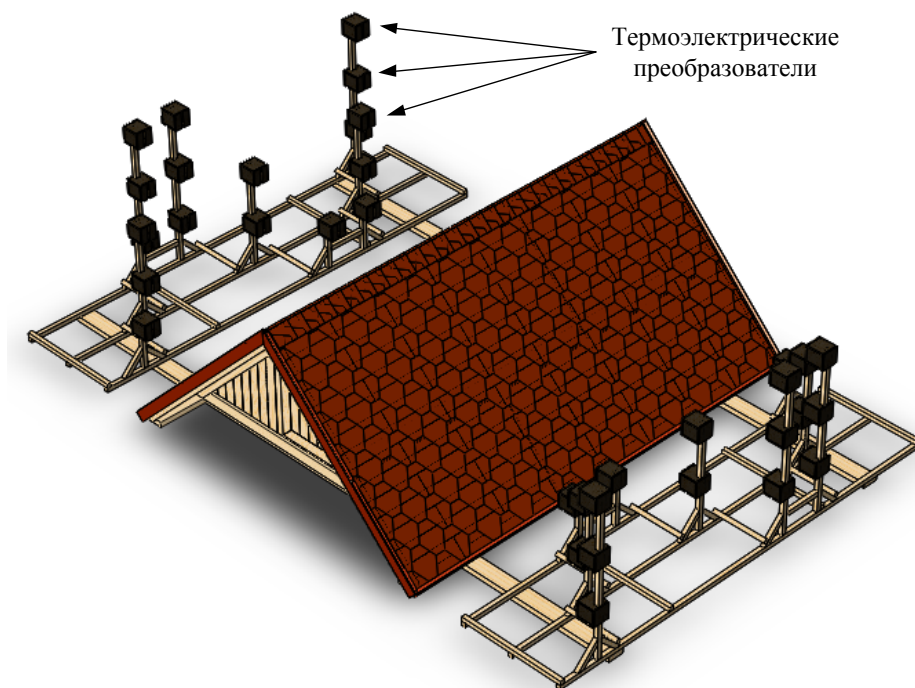
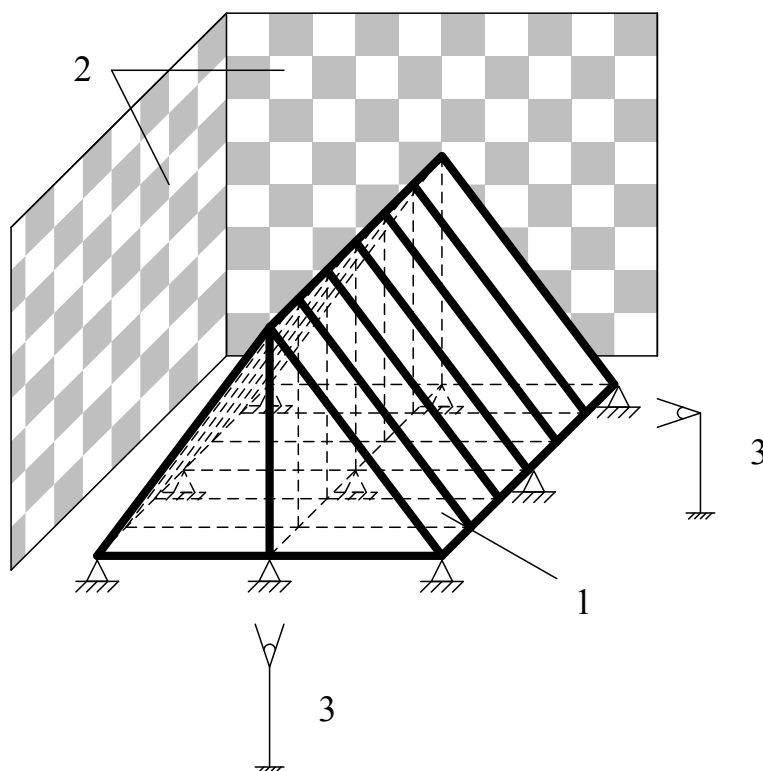


Рисунок 7. – Трехмерная модель экспериментального фрагмента с термопарами



1 – фрагмент двускатной кровли; 2 – размерная сетка; 3 – устройства для фото- и видеofиксации

Рисунок 8. – Расположение размерной сетки при проведении экспериментальных исследований

Моментом окончания натуральных огневых испытаний принимается время, соответствующее обрушению экспериментального фрагмента двускатной кровли, т. к. площадь проекции излучающей поверхности значительно уменьшится. Экспериментальные исследования

следует проводить днем в безветренную погоду, при температуре воздуха от 18 до 24 °С. Перечень применяемого измерительного оборудования для проведения экспериментальных исследований представлен в таблице 1.

**Таблица 1. – Перечень измерительного оборудования, применяемого при проведении экспериментальных исследований**

| № п/п | Наименование  | Назначение  | Количество, шт. |
|-------|---|---|-----------------|
| 1.    | Термоэлектрический преобразователь (ТХА-1199/-/51/-/2/250/-/3/6/-40...+1100 °С) | Измерение температур в диапазоне от -40 до 1100 °С                    | 36              |
| 2.    | Термометр многоканальный («Сосна-004»)  | Регистрация температур  | 3               |
| 3.    | Тепловизор  | Наблюдение за распределением температур в диапазоне от -40 до 1300 °С | 2               |
| 4.    | Видеокамера   | Регистрация изменений видимой площади проекции пламени                | 8               |
| 5.    | Фотокамера  |   | 2               |
| 6.    | Секундомер (ИНТЕГРАЛ С-01)  | Отсчет времени  | 1               |
| 7.    | Анеморумбометр (М63-М1)   | Измерение скорости и направления ветра                                | 1               |

Полученные в результате проведения экспериментального исследования данные будут использованы при определении геометрических параметров излучающей поверхности с учетом вида горючего материала отделки и угла наклона кровли. Это позволит уточнить методику расчета величины противопожарных разрывов между зданиями и сооружениями и комплексно оценить различные варианты устройства кровель.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сведения о чрезвычайных ситуациях в Республике Беларусь по данным учета МЧС за 2017 год [Электронный ресурс]: М-во по чрезв. ситуациям Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://mchs.gov.by/ministerstvo/statistika/svedeniya-o-chs>. – Дата доступа: 14.03.2018.
2. Ройтман, М.Я. Противопожарное нормирование в строительстве / М.Я. Ройтман. – М.: Стройиздат, 1985. – 590 с.
3. Воздействие на конструкции: Еврокод 1. Ч. 1-2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: ТКП EN 1991-1-2-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск: М-во архитектуры и строва Респ. Беларусь, 2010. – 48 с.
4. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования: СТБ 11.05.03-2010. – Введ. 28.04.2010. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. – 76 с.
5. Кудаленкин, В.Ф. Пожарная профилактика в строительстве / В.Ф. Кудаленкин. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985. – 453 с.
6. Carlsson, E. External fire spread to adjoining buildings / E. Carlsson // A review of fire safety design guidance and related research, Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden, 1999. – 125 p.
7. Зайцев, В.В. Противопожарные расстояния между автотранспортными средствами на открытых пространствах: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / В.В. Зайцев. – М., 2006. – 122 л.
8. Хабибулин, Р.Ш. Устойчивость к воздействию тепловых потоков пожара горизонтальных резервуаров с нефтепродуктом: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Р.Ш. Хабибулин. – М., 2010. – 162 л.
9. Мироненко, Р.В. Ограничение распространения пожара через многосветные помещения по зданиям торгово-развлекательных центров: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Р.В. Мироненко. – М., 2017. – 145 л.
10. Гоман, П.Н. Воспламеняемость наземного горючего материала хвойных насаждений при воздействии теплового излучения лесного пожара: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.02 / П.Н. Гоман. – Минск, 2013. – 163 л.
11. Классификация строительных изделий и материалов по пожарной опасности. Часть 5. Классификация по результатам испытаний стойкости кровли к наружному воздействию пламени: СТБ EN 13501-5-2011. – Введ. 28.10.2011. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2013. – 27 с.



## THE METHOD OF EXPERIMENTAL RESEARCHES TO DETERMINE THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE FLAME DURING COMBUSTION OF ROOFING MATERIALS

Siarhei Pastukhou, PhD in Technical Science, Associate Professor

Aliaksei Tsetsiarukou

The state educational establishment «University of civil protection of the Ministry of Emergency Situation of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

*Purpose.* The article is devoted to the method of carrying out experimental studies to determine the geometric parameters of a flame in the burning of a gable roof made of combustible materials.

*Methods.* A fragment of the gable roof was exposed to fire to determine the geometric parameters of the flame.

*Findings.* Existing methods for calculating fire gap do not take into account the geometric parameters of the roof.

*Application field of research.* The experimental data will be used in determining the geometric parameters of the radiating surface, taking into account the type of fuel material of the roofing and the angle of inclination of the roof.

*Conclusions.* Experimental studies will clarify the methodology for calculating fire gaps.

*Keywords:* fire gap; geometric parameters of the flame; combustible roofing materials; experimental research, modeling.

(The date of submitting: March 20, 2018)

### REFERENCES

1. *Svedeniya o chrezvychaynykh situatsiyakh za 2017 god* [Information on emergency situations for 2017]: Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, available at: <http://mchs.gov.by/ministerstvo/statistika/svedeniya-o-chs> (accessed: March 14, 2018). (rus)
2. Roytman M.Y. *Protivopozharnoe normirovanie v stroitel'stve* [Fire-prevention rationing in construction]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 590 p. (rus)
3. *Actions on structures. Eurocode 1. Part 1-2: General actions. Actions on structures exposed to fire: Technical Code of Good Practice 1991-1-2-2009*. Affirmed 01.01.2010. Minsk: RUE «Stroytechnorm», 2010. 48 p. (rus)
4. *Fire Safety Standart System. Fire safety of technological processes. Methods of assessment and analysis of fire hazard. General requirements: Belarus Standart 11.05.03-2010*. Affirmed 28.04.2010. Minsk: Gosstandart, 2010. 76 p. (rus)
5. Kudalengin V.F. *Pozharnaya profilaktika v stroitel'stve* [Fire prevention in construction]. Moscow, VIPTSh MVD USSR, 1985. 453 p. (rus)
6. Carlsson E. *External fire spread to adjoining buildings*. A review of fire safety design guidance and related research, Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden, 1999. 125 p.
7. Zaytsev V.V. *Protivopozharnye rasstoyaniya mezhdu avtotransportnymi sredstvami na otkrytykh prostranstvakh* [Fire-prevention distances between vehicles in open spaces]. PhD. tech. sci. diss. Synopsis: 05.26.03. Moscow, 2006. 122 p. (rus)
8. Khabibulin R.Sh. *Ustoychivost' k vozdeystviyu teplovykh potokov pozhara gorizontallykh rezervuarov s nefteproduktom* [Resistance to heat fluxes of horizontal tanks with oil products]. PhD. tech. sci. diss. Synopsis: 05.26.03. Moscow, 2010. 162 p. (rus)
9. Mironenko R.V. *Ogranichenie rasprostraneniya pozhara cherez mnogosvetnye pomescheniya po zdaniyam torgovo-razvlekatel'nykh tsentrov* [Restriction of the spread of fire through multi-luminous rooms along the buildings of shopping and entertainment centers]. PhD. tech. sci. diss. Synopsis: 05.26.03. Moscow, 2017. 145 p. (rus)
10. Goman P.N. *Vosplamyaemost' nazemnogo goryuchego materiala khvoynykh nasazhdeniy pri vozdeystvii teplovogo izlucheniya lesnogo pozhara* [Inflammability of the ground combustible material of coniferous plantations under the influence of thermal radiation from a forest fire]. PhD. tech. sci. diss. Synopsis: 05.26.03. Minsk, 2013. 163 p. (rus)
11. *Fire classification of construction products and building elements. Part 5. Classification using data from external fire exposure to roofs tests: State standard of the Republic of Belarus STB EN 13501-5-2011*. Affirmed 28.10.2011. Minsk: Gosstandart Respubliki Belarus', 2011. 27 p. (rus)