

УДК: 614.841.4

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ МАКСИМАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ С АДАПТИВНЫМ АЛГОРИТМОМ АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Корнилов Алексей Александрович, Бородин Александр Александрович

АО «Эридан», г. Березовский, Свердловская область, Россия

АННОТАЦИЯ

В работе сделано предположение о возможности оценки времени срабатывания пожарных извещателей с учетом изменения параметров горючей нагрузки на начальной стадии пожара. Приведены результаты экспериментального исследования, демонстрирующего на начальной стадии возгорания постепенное увеличение линейной скорости распространения пламени. Приведены результаты численного моделирования, показывающие существенные колебания температуры на начальной стадии пожара, отличающейся от температурного режима при стандартных испытаниях извещателей. Принимая во внимание допущение о равномерно возрастающей линейной скорости распространения пламени, была проведена расчетная оценка времени срабатывания дифференциального теплового пожарного извещателя с адаптивным алгоритмом анализа температуры. В результате расчетной оценки определено, что для пожарной нагрузки в виде хвойных пиломатериалов время его обнаружения дифференциальным пожарным извещателем при линейно возрастающей скорости распространения пламени в 4-6 раз больше, чем при постоянном справочном значении, что заметно увеличивает время начала эвакуации при расчете пожарного риска. В обоих случаях дифференциальный тепловой пожарный извещатель с адаптивным алгоритмом анализа позволяет обеспечить обнаружение пожара на более ранней стадии даже с учетом неравномерного роста температуры.

Ключевые слова: пожарная сигнализация, тепловой пожарный извещатель, адаптивный алгоритм анализа температуры, линейная скорость распространения пламени, моделирование пожара

EVALUATION OF THE RESPONSE TIME OF THE MAXIMUM DIFFERENTIAL THERMAL FIRE DETECTOR WITH AN ADAPTIVE ALGORITHM FOR TEMPERATURE ANALYSIS AT THE INITIAL STAGE OF A FIRE OF SOLID COMBUSTIBLE MATERIALS

Aleksej A. Kornilov, Aleksandr A. Borodin

JSC «E`ridan», Berezovskij, Sverdlovsk region, Russian Federation

ABSTRACT

The paper makes an assumption about the possibility of estimating the response time of fire detectors, taking into account changes in the parameters of the combustible load

at the initial stage of the fire. The results of an experimental study demonstrating a gradual increase in the linear velocity of flame propagation at the initial stage of ignition are presented. The results of numerical modeling are presented, showing significant temperature fluctuations at the initial stage of the fire, which differs from the temperature regime during standard tests of detectors. Taking into account the assumption of a uniformly increasing linear flame propagation velocity, a calculated estimate of the response time of a differential thermal fire detector with an adaptive temperature analysis algorithm was carried out. As a result of the calculated assessment, it was determined that for a fire load in the form of coniferous lumber, the time of its detection by a differential fire detector with a linearly increasing flame propagation velocity is 4-6 times greater than with a constant reference value, which significantly increases the time of evacuation when calculating fire risk. In both cases, a differential thermal fire detector with an adaptive analysis algorithm allows for fire detection at an earlier stage, even taking into account uneven temperature increases.

Keywords: fire alarm system, thermal fire detector, adaptive analysis algorithm, linear flame propagation velocity, fire simulation

Согласно Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности [1], одним из способов защиты людей и имущества является устройство систем пожарной сигнализации. Согласно п. 6.1.1 СП 484.1311500.2020 [2], в число задач системы пожарной сигнализации (СПС) входят:

- своевременное обнаружение пожара;
- достоверное обнаружение пожара;
- сбор, обработка и представление информации дежурному персоналу;
- взаимодействие с другими (при их наличии) системами противопожарной защиты.

Оценка своевременности обнаружения пожара является весьма непростой задачей для проектировщика систем автоматической противопожарной защиты (АПЗ), поскольку на стадии выбора средств обнаружения пожара необходимо учитывать сложный комплекс факторов и условий. И нельзя не согласиться с автором [3] в том, что заказчик АПЗ стремится к уверенности, что реализованные по всем нормам и правилам системы гарантируют предотвращение пожара с ощутимыми

убытками. Однако существующие стандарты не могут предугадать все возможные виды объектов, а методы сертификационных испытаний – все варианты динамики параметров, контролируемых средствами обнаружения пожара. Поэтому проектировщику могут быть полезны сведения об эффективности применяемых им технических средств в конкретных условиях.

В практику проектирования противопожарной защиты все больше входит применение различных расчетных обоснований. Так, в новой редакции методики расчета пожарного риска [4], применяемой для обоснования отступлений от требований нормативных документов по пожарной безопасности, время обнаружения пожара необходимо оценивать расчетным путем. Ключевым соотношением в расчете пожарного риска является выполнение условия безопасной эвакуации для определения вероятности эвакуации людей. При этом время начала эвакуации для зданий, оборудованных системой пожарной сигнализации, определяется по формуле:

$$t_{н.э.} = t_{пор} + t_{инерц}^{обн} + t_{задерж}^{СОУЭ} + t_{предв} \quad (1)$$

где $t_{\text{пор}}$ – время достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя, определяемое расчетным путем, с;

$t_{\text{инерц}}^{\text{обн}}$ – время задержки, связанное с инерционностью системы обнаружения пожара, с;

$t_{\text{задерж}}^{\text{СОУЭ}}$ – время задержки, связанное с задержкой оповещения людей при пожаре, с;

$t_{\text{предв}}$ – время проведения предварительных действий, предшествующих началу эвакуации.

Сценарий возникновения пожара и эвакуации выбирается исходя из создания наихудших условий с целью выявления сочетания наибольшего расчетного времени эвакуации и наименьшего необходимого времени эвакуации [4]. При этом характеристики горючей нагрузки, влияющие на динамику опасных факторов пожара, принимаются постоянными. Для определения времени срабатывания технических средств обнаружения пожара такой подход предполагает получение более оптимистичного результата. Однако практика разработки технических средств обнаружения пожара выявила необходимость обеспечения возможности обнаружения пожара с учетом реального режима,

поэтому возникло предположение о недоверности данного подхода и его расхождении с иными методиками расчетов в области пожарной безопасности. Например, предварительное планирование действий пожарных подразделений предполагает двукратное уменьшение линейной скорости распространения пожара в течение первых 10 минут [6, 7, 8]. Аналогичное условие предусмотрено в методике оценки возможности использования спринклерной автоматической установки пожаротушения (примечание 2 к таблице В.1 приложения В к СП 485.1311500.2020 [7]). Вопрос весьма актуален, ведь даже применение достигших высокой точности дифференциальных (полевых) моделей динамики опасных факторов пожара ограничивается достоверностью моделей горения пожарной нагрузки [9]. Для наглядной проверки предположения был проведен простой эксперимент на примере тестового очага аналогично ТП-1, который используется для испытания пожарных извещателей согласно [10]. Поскольку высота тестового очага значительно меньше длины и ширины, то основной областью распространения пламени будет горизонтальная плоскость. Схема измерительного стенда представлена на рис. 1.

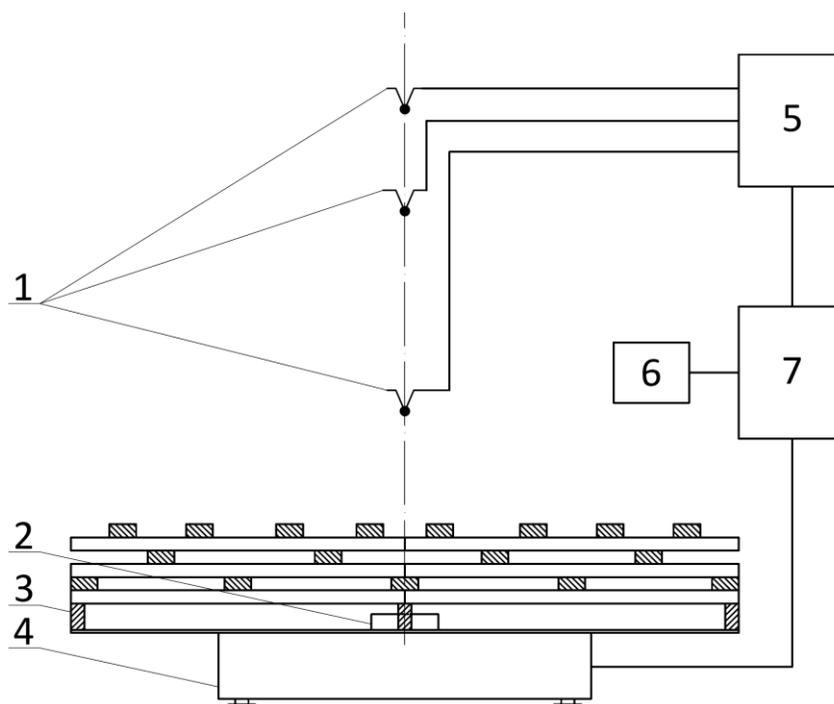


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

1 – термопары на высоте 0,2 м, 0,6 м и 0,9 м над очагом; 2 – емкость для горючей жидкости; 3 – тестовый очаг (70 брусков из сосны); 4 – электронные лабораторные весы; 5 – электронный самописец; 6 – видеокамера; 7 – запоминающее устройство

Fig. 1. Scheme of the experimental stand

1 – thermocouples at a height of 0.2 m, 0.6 m and 0.9 m above the hearth; 2 – a container for a flammable liquid; 3 – a test center (70 pine bars); 4 – electronic laboratory scales; 5 – an electronic recorder; 6 – a video camera; 7 – a storage device

Для розжига тестового очага использовался этиловый спирт. С момента воспламенения фиксировалась масса тестового очага и температура над ним, кроме того, осуществлялась фото и видеосъемка для последующего анализа изменения площади горения.

Известно [8, 9, 11], что скорость распространения пламени может зависеть от физических свойств материалов, их химического состава, геометрии, начальной температуры, способа разме-

щения и ориентации поверхности, направления распространения, плотности, теплоемкости, теплопроводности и других параметров. Поэтому целью эксперимента являлась лишь качественная оценка процесса; задача получения конкретных параметров, характеризующих интенсивность горения для данного вида и способа размещения пожарной нагрузки, не ставилась. Фото тестового очага в процесс испытания представлено на рис. 2.

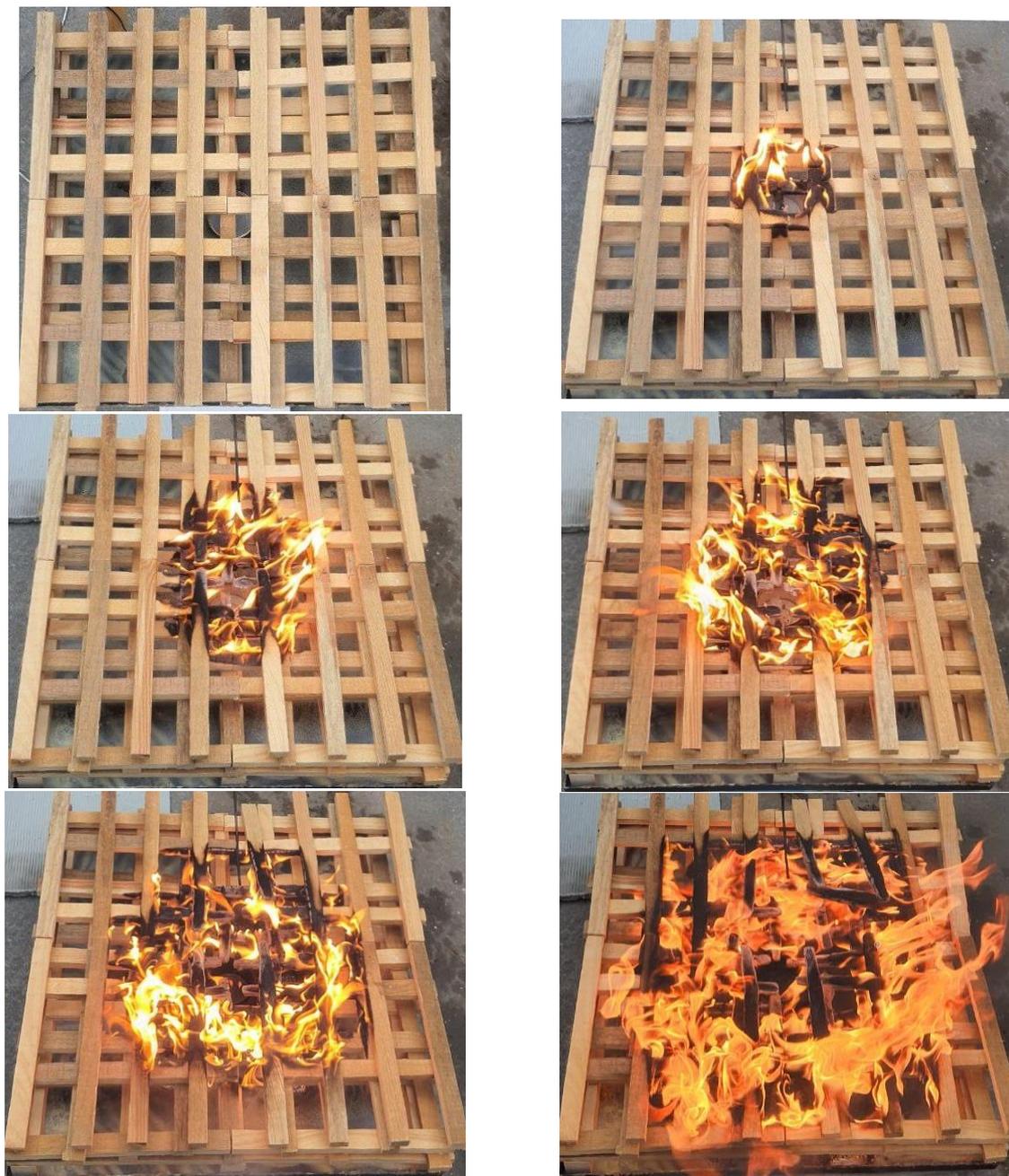


Рис. 2. Огневые испытания

Fig. 2. Fire tests

Масса сгоревшего горючего материала с течением времени представлена на рис. 3.

Поскольку площадь пожара в ходе испытаний могла принимать форму эллипса, то эквивалентный радиус пожара определялся по формуле:

$$r = \sqrt{\frac{F_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot \frac{d_1}{2} \cdot \frac{d_2}{2}}{\pi}} = 0,5\sqrt{d_1 \cdot d_2}, \quad (2)$$

где r – радиус пожара тестового очага, м;

F_3 – площадь пожара в форме эллипса, м²;

d_1, d_2 – диаметры площади пожара тестового очага, м.

Оценка линейной скорости распространения пламени *и*л проводилась с момента, когда горение легковоспламеняющейся жидкости прекратилось, время ее полного выгорания составило 3,5 мин.

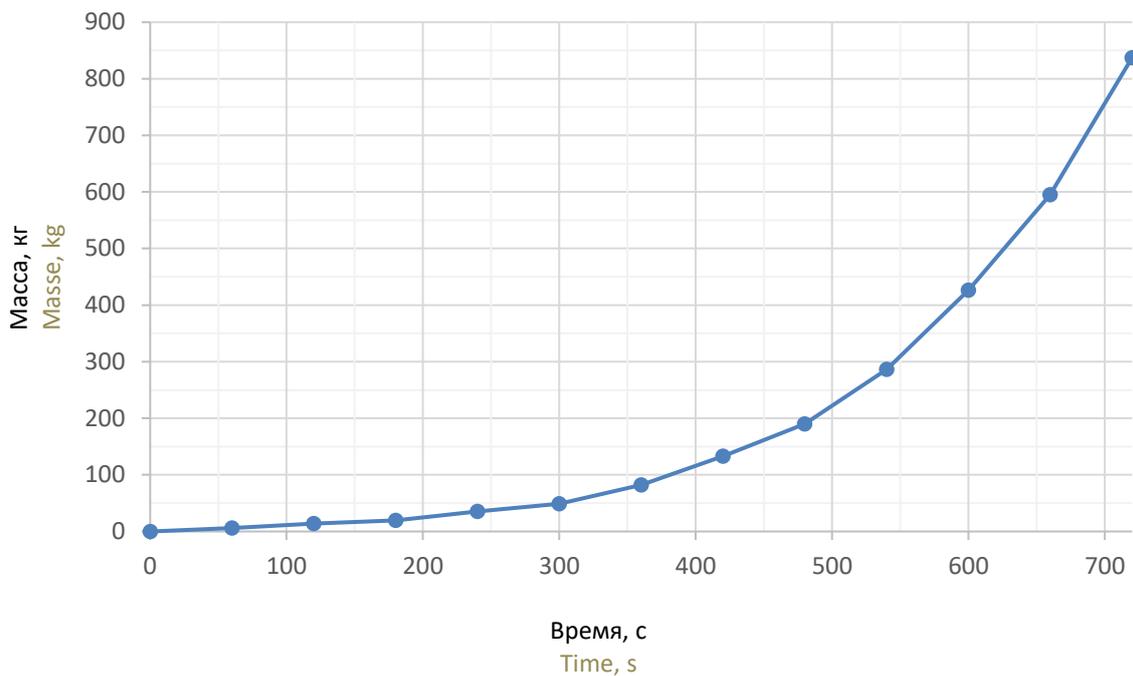


Рис. 3. Масса выгоревшего горючего материала
Fig. 3. Mass of burnt-out combustible material

Линейная скорость распространения пламени оценивалась двумя способами (рис. 4):

- на отрезке времени:

$$v'_{ли} = \frac{r_i - r_{i-1}}{\tau_i - \tau_{i-1}} \quad (3)$$

- нарастающим итогом:

$$v_{ли} = \frac{r_i - r_4}{\tau_i - 4}, \quad (4)$$

где r_i, r_{i-1}, r_4 – радиус очага пожара на момент времени соответственно τ_i, τ_{i-1} и $\tau = 4$ мин (время, когда горение легковоспламеняющейся жидкости гарантированно прекратилось), м.

Удельная массовая скорость выгорания с единицы площади поверхности брусков $\Psi_{уд}$ на каждом отрезке времени оценивалась приблизительно с учетом того, что горение в объеме тестового очага принимало форму цилиндра, 70 брусков распределены по площади равномерно согласно [10] (рис. 5).

На основании данных рис. 4 и 5 можно сделать вывод об устойчивом росте линейной скорости распространения пламени и относительной стабильности удельной массовой скорости выгорания. Таким образом, опираясь на допущение о том, что в течение первых десяти минут линейная скорость распространения пламени равномерно возрастает, можно сформулировать упрощенный подход к выбору исходных данных при моделировании температурного режима для последующего прогнозирования времени срабатывания пожарного извещателя (рис. 6). Хотя, основываясь на данных [8, 11, 12], более точным представляется предположение об экспоненциальном росте линейной скорости. В любом случае нельзя не принимать во внимание, что все параметры, характеризующие выгорание пожарной нагрузки на начальной стадии пожара, носят вероятностный характер [9, 12].

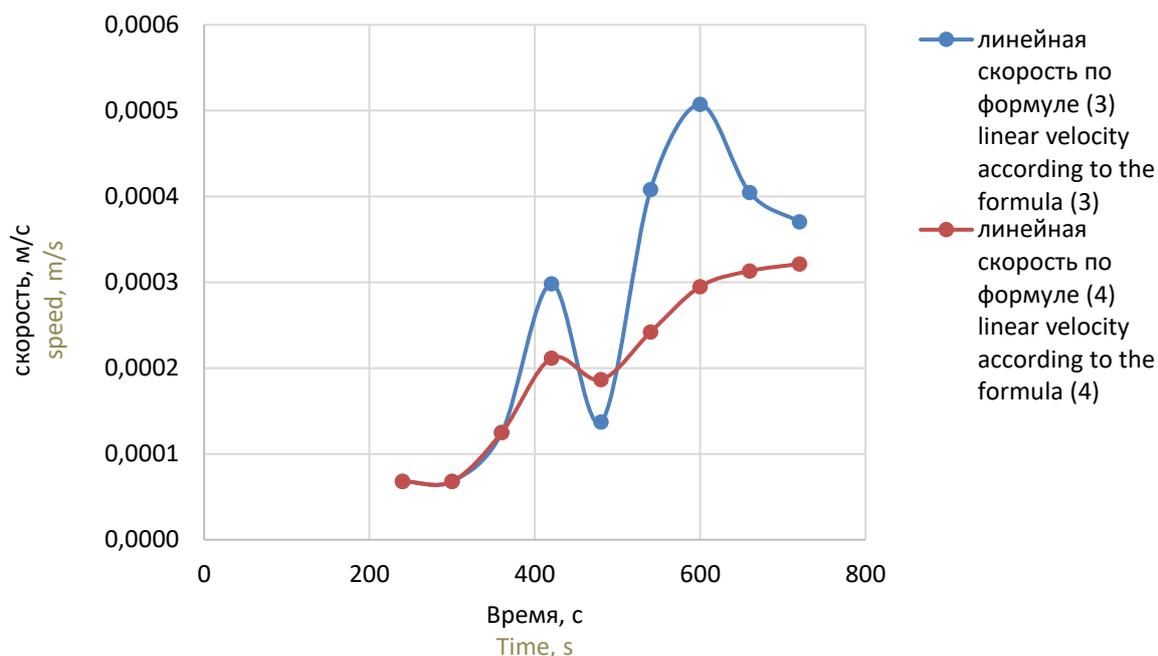


Рис. 4. Результаты анализа линейной скорости распространения пламени
Fig. 4. Results of the analysis of the linear velocity of fire propagation

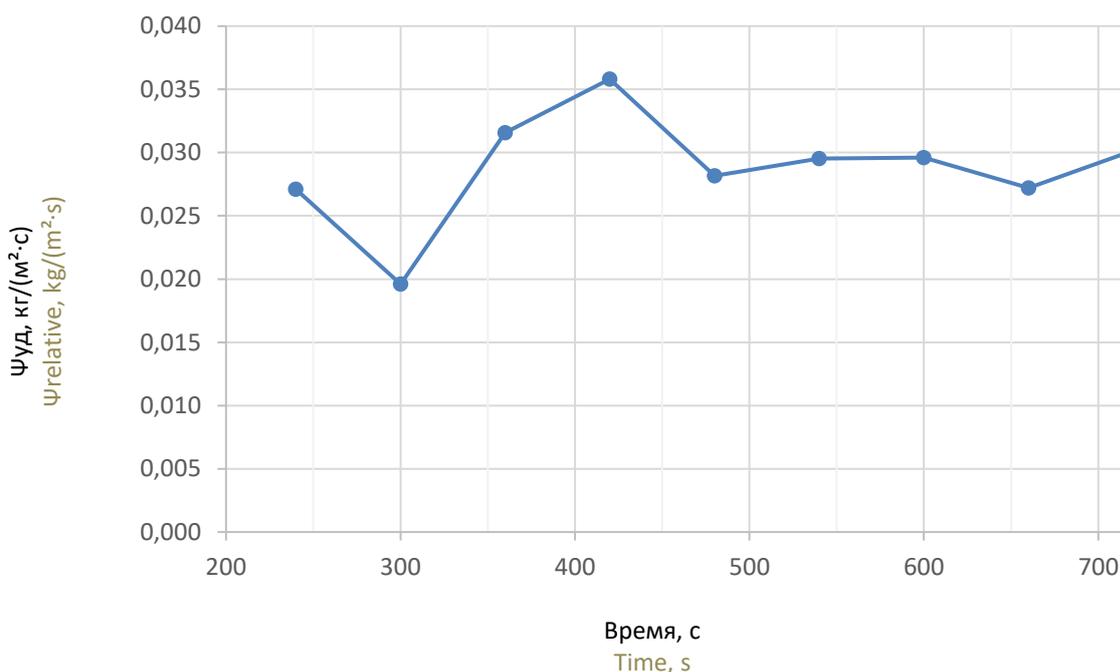


Рис. 5. Результаты анализа удельной массовой скорости выгорания древесины
Fig. 5. Results of the analysis of the specific mass rate of wood burning

В качестве примера пожарной нагрузки выбраны хвойные древесные строительные материалы, для которых

линейная скорость распространения пламени v_l согласно [13], принимается равной 0,0585 м/с.

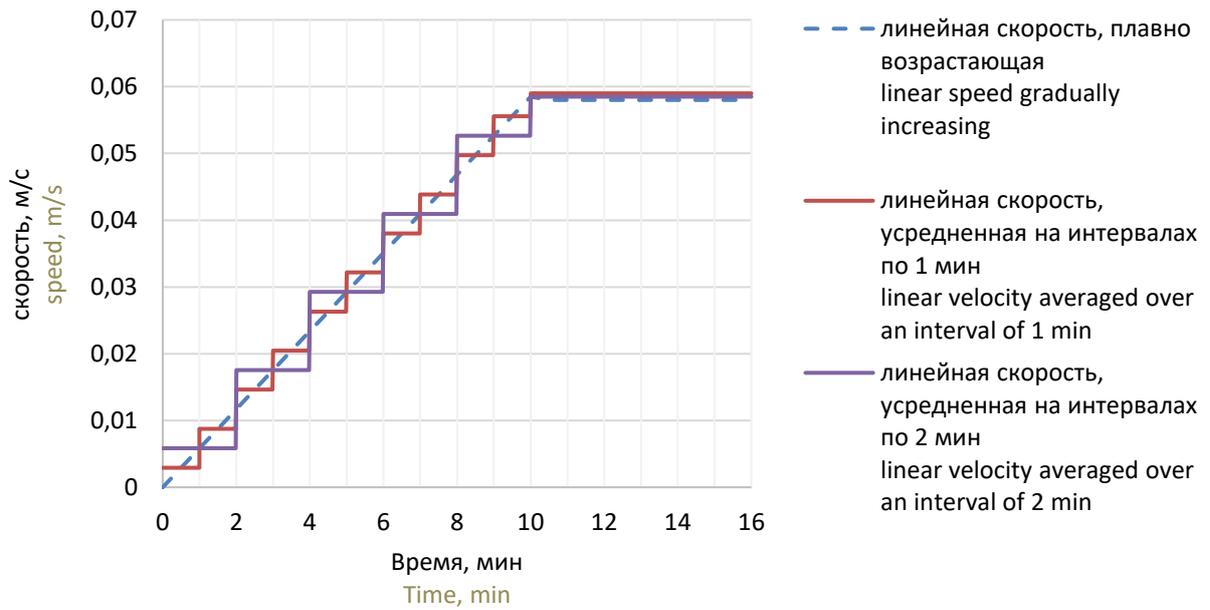


Рис. 6. Линейная скорость распространения пламени на начальной стадии пожара для упрощенного численного моделирования

Fig. 6. Linear flame propagation velocity at the initial stage of a fire for simplified numerical simulation

Для сравнения сопоставим динамику площади пожара при полной справочной скорости распространения, а также

с учетом допущения половинной и равномерно увеличивающейся скорости (рис. 7).

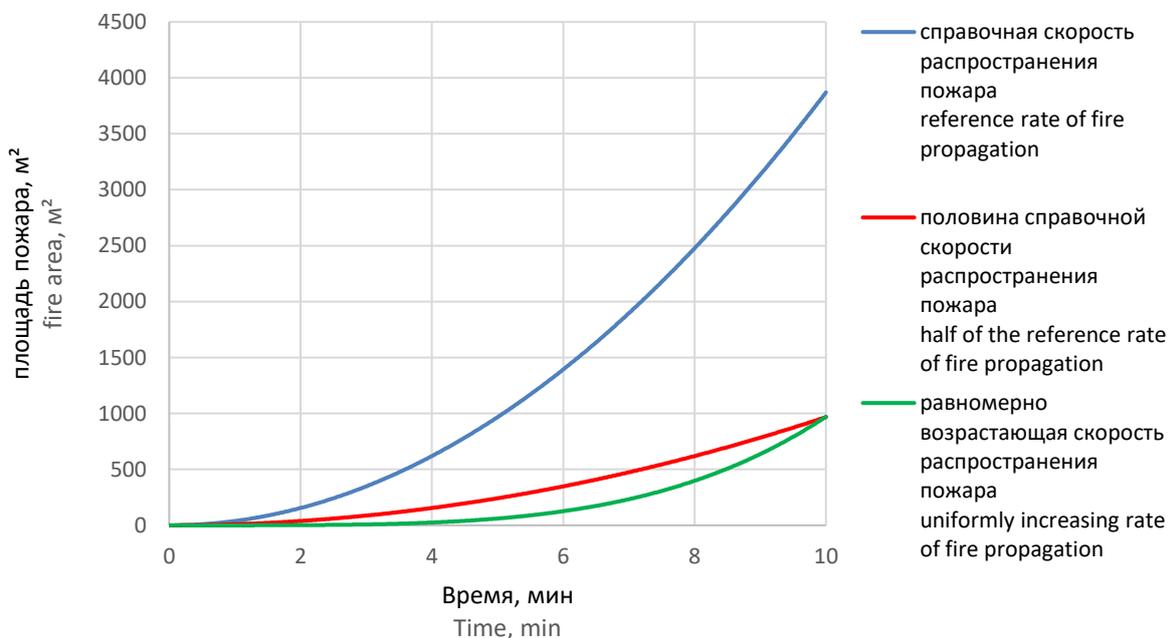


Рис. 7. Динамика площади пожара линейная скорость распространения пламени на начальной стадии пожара

Fig. 7. Linear velocity of flame propagation at the initial stage of a fire

По данным рис. 7 площадь пожара при половинной и линейно возрастающей скорости распространения пламени по истечении 10 мин (периода допущения) принимают равные значения, но на начальной стадии отличаются весьма существенно. Таким образом, условие линейно возрастающей скорости распространения пламени для оценки времени срабатывания извещателя можно считать наилучшим.

Согласно рис. 6 для оценки времени срабатывания извещателя в течение первой минуты можно принять линейную скорость распространения пламени равную среднему значению скорости в течение первой минуты – 0,05в/л, для периода времени в течение первых двух минут – 0,1в/л. Для сравнения автором [9] приводятся результаты эксперимента с горением штабеля древесины, для которого фактическая линейная скорость распространения пламени составила 0,00666 м/с, что приблизительно равно 0,11в/л от справочной величины [13].

Для оценки интенсивности роста температуры выполнено численное моделирование в программном комплексе Fire Dynamics Simulator для помещения размерами в плане 20×20 м и высотой 3,5 м, в качестве горючей нагрузки выбраны хвойные древесные строительные материалы [13]. Извещатели равноудалены от очага пожара и расположены на расстоянии 5 м друг от друга в соответствии с требованиями [2], очаг расположен в центре помещения (рис. 8). Расчет проводился последовательно для двух вариантов с учетом предполагаемого времени срабатывания в течение первой или второй минуты развития пожара, в этом случае линейная скорость распространения пламени принималась равной 0,05в/л и 0,1в/л соответственно, площадь размещения горючей нагрузки не ограничивала распространение в течение периода моделирования (рис. 8).

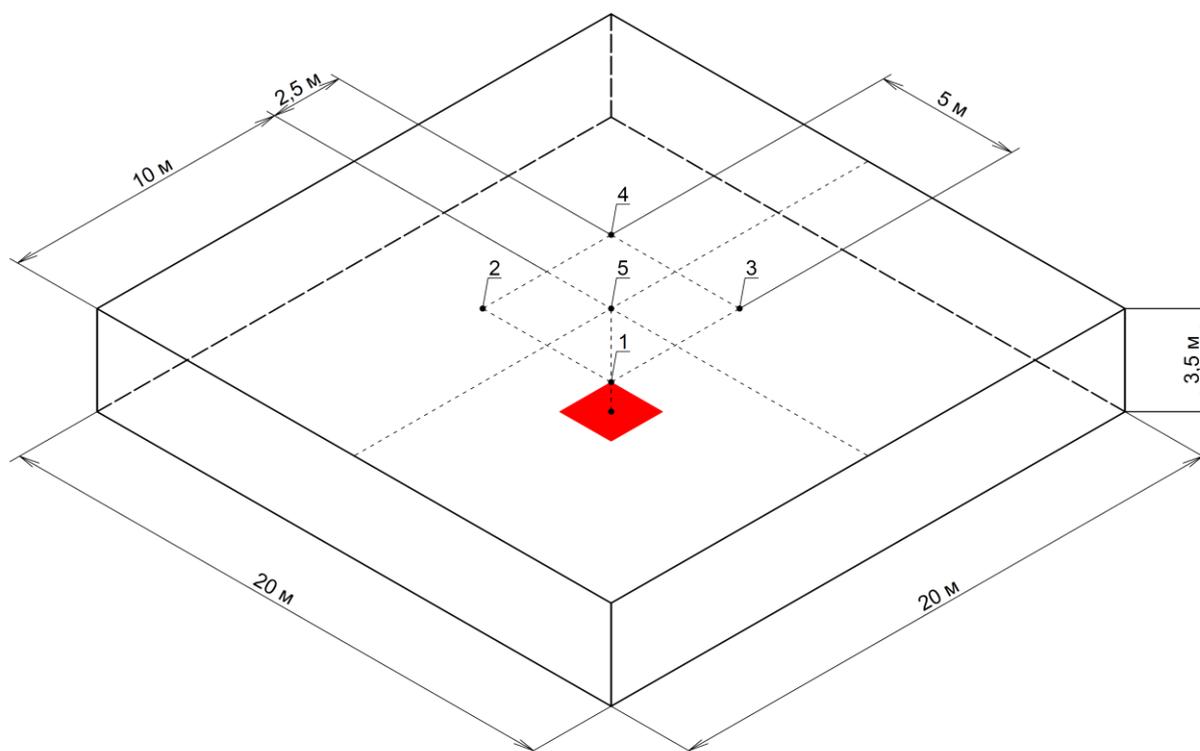


Рис. 8. Схема размещения расчетных точек

Fig. 8. Layout of settlement points

Размещение извещателя в точке 5 (непосредственно над очагом) является фактически наилучшим условием для его срабатывания, поэтому можно говорить о том, что время обнаружения пожара бу-

дет находиться в диапазоне между временем срабатывания в точке 5 и точках 1–4. Графики температур для расчетных точек для каждого варианта приведены на рис. 9 и 10.

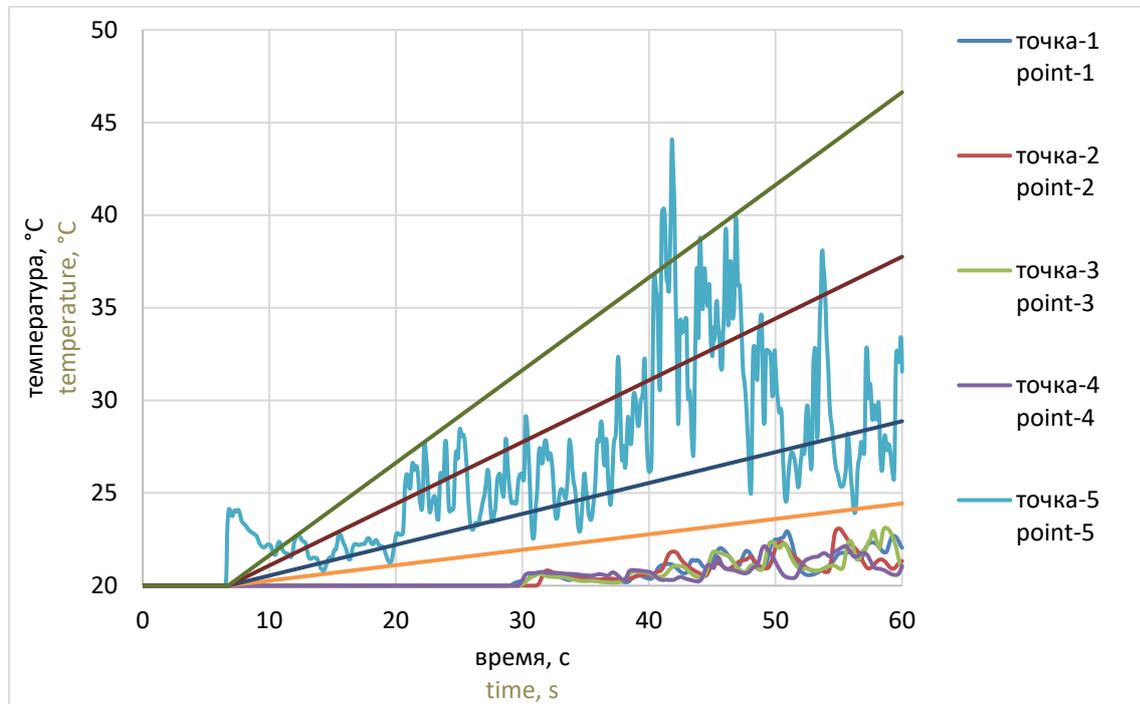


Рис. 9. Динамика температуры в контрольных точках при линейной скорости распространения пламени, равной 5 % от табличного значения

Fig. 9. Temperature dynamics at control points at a linear flame propagation velocity equal to 5% of the table value

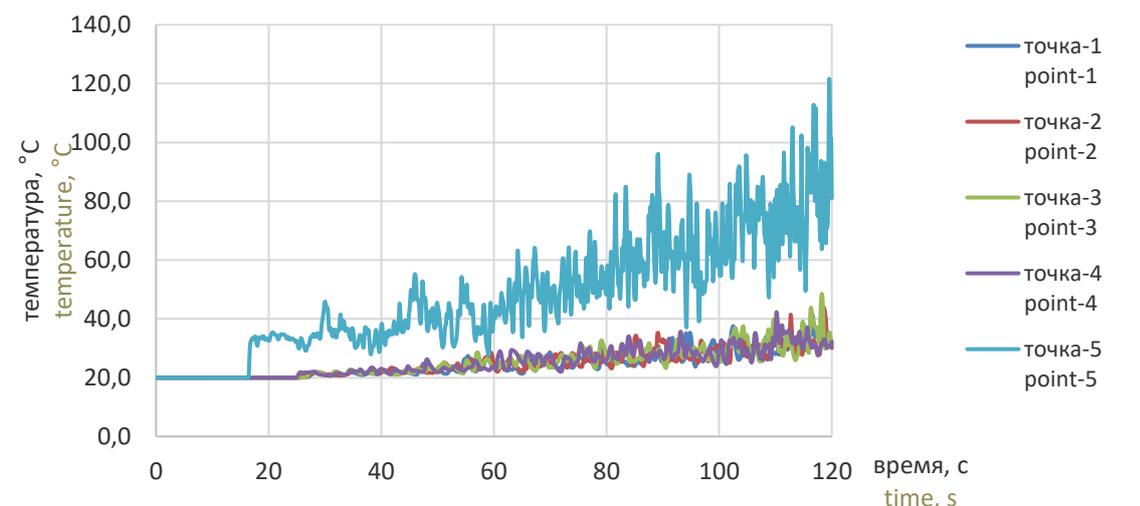


Рис. 10. Динамика температуры в контрольных точках при линейной скорости распространения пламени, равной 10 % от табличного значения

Fig. 10. Temperature dynamics at control points at a linear flame propagation velocity equal to 10% of the table value

Результаты численного моделирования наглядно демонстрируют еще одну особенность динамики температуры на начальной стадии пожара, а именно: существенные колебания с сохранением тенденции к росту. Если сопоставить расчетные значения со стандартными режимами испытания дифференциальных тепловых извещателей согласно [10], при которых создается равномерный рост температуры со скоростями от 5 до 30 °С/мин, то можно заметить, что режим реального пожара может существенно отличаться от стандартных кривых даже без учета неравномерного выгорания пожарной нагрузки.

Также по результатам огневых испытаний (рис. 11) рост температуры не был столь стремительным, как это демонстрируют результаты численного моделирования с полной линейной скоростью распространения пламени, что также может быть обусловлено небольшой удельной пожарной нагрузкой (около 110 МДж/м²). На рис. 11 в течение первых 210 МДж/м²с происходило выгорание спирта для розжига тестового очага, только спустя примерно 480 МДж/м² с наблюдался устойчивый рост температуры, обусловленный исключительно горением древесины.

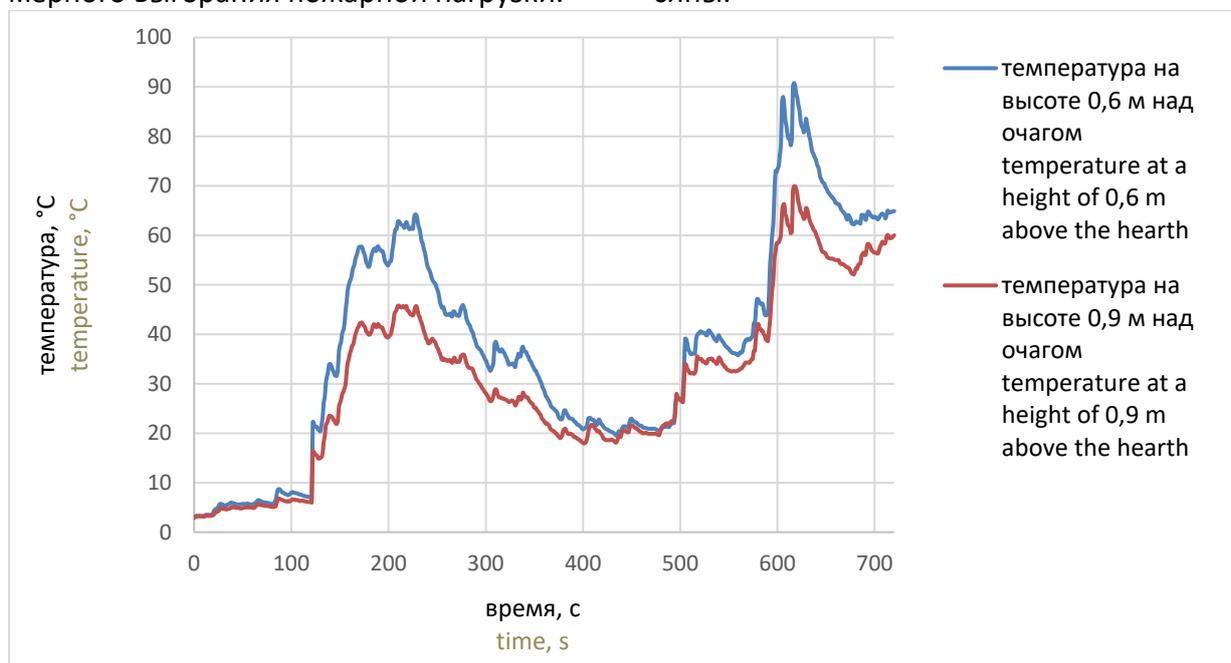


Рис. 11. Результаты измерения температуры на высоте 0,6 м и 0,9 м над тестовым очагом при огневых испытаниях

Fig. 11. The results of temperature measurement at a height of 0,6 m and 0,9 m above the test hearth during fire tests

Данный отрезок времени можно условно отнести к периоду «загорания», по мнению автора [3] представляющего собой теплофизический процесс, возникший в результате занесения высокотемпературного микро-мини источника в горючую среду, способный генерировать в окружающую среду тепло, продукты горения и открытое пламя, тепловая мощность которого еще не способна причинять

ущерб материальным ценностям или угрожать жизнедеятельности человека, но в определенных условиях окружающей среды склонный к развитию во времени по тепловой мощности и площади горения до величины, вызывающей пожар, уже причиняющий ущерб материальным ценностям и угрожающий жизнедеятельности людей. Экспериментальная скорость роста температуры над очагом заметно меньше

моделируемой с полной линейной скоростью распространения пламени, что приведет к большему времени срабатывания пожарного извещателя. Безусловно, все зависит от конкретных условий, сложившихся на объекте защиты, и фактический сценарий будет где-то между условно наилучшим и наихудшим, но представляется целесообразным заведомо подготовить и оценить способность пожарного извещателя к реагированию на изменение контролируемого параметра при нестационарных параметрах очага пожара. Если алгоритмом анализа температуры предусмотрена аппроксимация с помощью линейной функции, то это может повлечь существенное искажение результатов измерения (рис. 9). В случае, если алгоритм анализа основан только на сравнении текущей температуры со средним значением до начала пожара, то вывод о выполнении критерия срабатывания (повышения температуры на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ со скоростью не ниже $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) может носить нестабильный характер. Чтобы избежать этого и нивелировать влияние нестационарного температурного режима на принятие решения о пожаре был разработан адаптивный алгоритм анализа температуры [14], позволяющий отслеживать колебания температуры, оценивать их соответствие возможной динамике роста температуры на начальной стадии пожара и делать вывод на основе оценки совокупности не одного, а целого ряда измерений с момента начала роста температуры. В этом случае испытания при стандартных режимах нагрева [10] являются частным случаем динамики температуры реального пожара. Адаптивный алгоритм анализа температуры был реализован в программе микроконтроллера максимально-дифференциального извещателя ИП101-07а [14].

Время срабатывания максимально-дифференциального теплового извещателя с адаптивным алгоритмом анализа [14, 15] при размещении в указанных расчетных точках с учетом и без учета допущения о нарастающей линейной скорости распространения пламени представлено в табл. 1.

Согласно данным рис. 9 срабатывание в течение первой минуты происходит непосредственно над очагом пожара (точка 5). Таким образом, можно сделать вывод о том, что срабатывание максимально-дифференциального извещателя с адаптивным алгоритмом анализа температуры [14, 15] для рассматриваемого сценария с учетом допущения равномерного увеличения линейной скорости распространения пламени (реализующем неблагоприятные условия для срабатывания) происходит в течение 41–108 с при расчетной площади пожара от $0,05\text{ м}^2$ до $1,3\text{ м}^2$ соответственно. Для полной скорости распространения пламени расчетное время срабатывания составляет 9–18 с. при расчетной площади пожара от $0,9\text{ м}^2$ до $3,5\text{ м}^2$. То есть время обнаружения дифференциальным извещателем при равномерно увеличивающейся линейной скорости распространения пламени в 4–6 раз больше, чем при постоянном справочном значении, что заметно увеличивает время начала эвакуации по формуле (1). В обоих случаях дифференциальный тепловой пожарный извещатель позволяет обеспечить реагирование существенно раньше максимального, что подтверждается, например, авторами [16] на основании анализа большого количества видов пожарной нагрузки при постоянном справочном значении линейной скорости распространения пламени.

Таблица 1

Расчетное время срабатывания максимально-дифференциального извещателя с адаптивным алгоритмом анализа температуры [14, 15] и допущением увеличения линейной скорости распространения пламени

Table 1

The estimated response time of the maximum differential detector with an adaptive temperature analysis algorithm [14, 15] and the assumption of an increase the linear velocity of flame propagation

Расчетная Точка Settlement point	с учетом допущения увеличения линейной скорости распространения taking into account the assumption of an increase in the linear velocity of propagation		с учетом постоянной линейной скорости распространения taking into account the constant linear velocity of propagation	
	среднее время срабатывания, с average response time, s	площадь пожара к моменту срабатывания, м ² the area of the fire at the time of operation, m ²	среднее время срабатывания, с average response time, s	площадь пожара к моменту срабатывания, м ² the area of the fire at the time of operation, m ²
1 – 4	108	1,3	18	3,5
5	41	0,05	9	0,9

Таким образом, учитывая вероятностный характер параметров, влияющих на выгорание пожарной нагрузки, можно сказать, что представленные в таблице 1 данные, с одной стороны, лишь очерчивают разброс искомых величин, с другой

стороны, позволяют приблизиться к построению эффективной системы противопожарной защиты объекта при более скрупулезном подходе к оценке характеристик технических средств обнаружения пожара и условий их применения на объекте защиты.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (послед. ред.) // Гарант.ру : информационно-правовой портал. URL: ivo.garant.ru/#/document/12161584/ (дата обращения: 21.11.2023).
2. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования.
3. Шаровар Ф. И. О технологиях гарантированного предотвращения пожаров // Технологии техносферной безопасности. 2015. № 5 (63). С. 60–67. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26249904> (дата обращения: 21.11.2023).
4. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 14.11.2022 № 1140 // КонсультантПлюс : сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_442656/ (дата обращения: 21.11.2023). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
5. Повзик Я. С. Пожарная тактика. М., 2004. 416 с.
6. Тербенев В. В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М., 2004. 256 с.

7. СП 485.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.
8. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров : учебное пособие. М., 1980. 255 с.
9. Молчадский И. С. Пожар в помещении. М., 2005. 456 с.
10. ГОСТ 34698–2020. Извещатели пожарные. Общие технические требования : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 29 июня 2021 г. № 598-ст : дата введения 2023-07-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180194> (дата обращения: 21.11.2023).
11. Драйздел Д. Введение в динамику пожаров / пер. с англ. К. Г. Бомштейна ; под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Макарова. М., 1990. 424 с.
12. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В. М. Астапенко и др. ; под. ред. Ю. А. Кошмарова. М., 1988. 448 с.
13. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. М., 2000. 118 с.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023683265 Российская Федерация : заявл. 24.10.2023 : зарегистрир. 07.11.2023 / Корнилов А. А., Бородин А. А., Шульгин И. В., Шлыков Е. Д., Долговых К. С. ; правообладатель АО «ЭРИДАН».
15. ИП101-07а-RS. Извещатель пожарный тепловой взрывозащищенный программируемый адресный // АО «Эридан» : сайт. URL: <https://eridan.ru/catalog/product/ip101-07a-rs/> (дата обращения: 21.11.2023).
16. Субачев С. В., Субачева А. А. Анализ расчетных величин времени начала эвакуации, определяемых по новой методике оценки пожарного риска, для помещений с различной горючей нагрузкой // Техносферная безопасность. 2023. № 3 (40). С. 44–55. URL: [https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%203%20\(40\)/5.pdf](https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%203%20(40)/5.pdf) (дата обращения: 21.11.2023).

REFERENCES

1. Technical Regulations on Fire safety requirements: Federal Law No. 123-FZ of 22.07.2008 // Garant.ru: information and legal portal. URL: ivo.garant.ru/#/document/12161584/ (date of application: 21.11.2023). (rus).
2. SP 484.1311500.2020. Fire protection systems. Fire alarm systems and automation of fire protection systems. Norms and rules of design. (rus).
3. Sharovar F.I. About technologies of guaranteed fire prevention. Technosphere safety technologies. 2015; 5(63): 60–67. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26249904> (date of application: 21.11.2023). (rus).
4. Order of the Emercom of Russia dated 14.11.2022 no. 1140 «On approval of the methodology for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and fire compartments of various classes of functional fire hazard». (rus).
5. Povzik Ya.S. Fire tactics. Moscow, ZAO «SPECZTEKNIKA», 2004; 416. (rus).
6. Terebenev V.V. Directory of the fire extinguishing manager. Tactical capabilities of fire departments. Moscow, Pozhkniga, 2004; 256. (rus).
7. SP 485.1311500.2020. Fire protection systems. Fire extinguishing installations are automatic. Norms and rules of design. (rus).
8. Abduragimov I.M., Govorov V.Yu., Makarov V.E. Physico-chemical foundations of the development and extinguishing of fires: textbook. Moscow, Higher Engineering Fire-technical School. 1980; 255. (rus).
9. Molchadskij I.S. Indoor fire. Moscow, VNIPO, 2005; 456. (rus).
10. GOST 34698-2020. Interstate standard. Fire detectors. General technical requirements. Test methods. Fire detectors. General technical requirements. Test methods (date of application: 2023-07-01). (rus).
11. Drajzdel D. Introduction to the dynamics of fires / Per. s angl. K.G. Bomshtejna; pod red. Yu.A. Koshmarova, V.E. Makarova. Moscow, Strojizdat. 424. (rus).
12. Astapenko V.M., Koshmarov Yu.A., Molchadskij I.S., Shevlyakov A.N. Thermal and gas dynamics of indoor fires. Moscow, Strojizdat, 1988; 448. (rus).
13. Koshmarov Yu.A. Forecasting of fire hazards in the room: A textbook. Moscow, AGPS MVD Of Russia, 2000; 118. (rus).
14. Certificate of state registration of a computer program № 2023683265 Russian Federation: declared 24.10.2023: registered 07.11.2023 / Kornilov A.A., Borodin A.A., Shul`gin I.V., Shly`kov E.D., Dolgovy`x K.S.; copy-right holder AO «E`RIDAN». (rus).
15. IP101-07a-RS. Fire detector thermal explosion-proof programmable addressable. URL: <https://eridan.ru/catalog/product/ip101-07a-rs/> (date of application – 21.11.2023). (rus).

16. Subachev S.V., Subacheva A.A. Analysis of the calculated values of the evacuation start time determined by the new fire risk assessment methodology for rooms with different combustible loads. *Technosphere safety*. 2023; 3(40):44–55. URL: [https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%203%20\(40\)/5.pdf](https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%203%20(40)/5.pdf) (date of application: 21.11.2023). (rus).

Информация об авторах

Корнилов Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент. Главный специалист по пожарной безопасности, АО «Эридан». Россия, 623704, Свердловская область г. Березовский, ул. Транспортников, стр. 43;

РИНЦ ID: 716627; Scopus Author ID: нет; Re-searcher ID: нет; ORCID:

e-mail: a.kornilov@eridan.ru

Бородин Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент. Руководитель группы «Системные решения», АО «Эридан». Россия, 623704, Свердловская область г. Березовский, ул. Транспортников, стр. 43;

РИНЦ ID: 716150; Scopus Author ID: нет; Re-searcher ID: нет; ORCID:

e-mail: a.borodin@eridan.ru

Information about the authors

Aleksej A. Kornilov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor. Chief Fire Safety Specialist, JSC «E`ridan». Transportnikov St., 43, Berезovskij, Sverdlovsk region, 623704, Russian Federation.

ID RISC: 716627; Scopus Author ID: none; Re-searcher ID: none; ORCID: none;

e-mail: a.kornilov@eridan.ru

Aleksandr A. Borodin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor. Head of the "System Solutions" group, JSC «E`ridan». Transportnikov St., 43, Berезovskij, Sverdlovsk region, 623704, Russian Federation.

ID RISC: 716150; Scopus Author ID: none; Re-searcher ID: none; ORCID: none;

e-mail: a.borodin@eridan.ru