

УДК 614.841.4

## ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ МАКСИМАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ С АДАПТИВНЫМ АЛГОРИТМОМ АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Корнилов Алексей Александрович, Бородин Александр Александрович

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

### АННОТАЦИЯ

При разработке проектов автоматической противопожарной защиты проектировщик определяет преобладающий фактор пожара для обеспечения своевременности его обнаружения, не всегда имея достаточно информации для принятия решения. В работе была предпринята попытка определить ориентировочные размеры обнаруживаемого очага (на примере этилового спирта) за время, которое может быть приемлемым для достижения целей противопожарной защиты объекта. Для более достоверного численного моделирования проведен литературный обзор и натурные эксперименты по определению удельной массовой скорости выгорания этилового спирта для очагов различного диаметра. Полученные данные подтвердили зависимость величины удельной массовой скорости выгорания от диаметра очага, для небольших очагов она оказалась существенно ниже справочных значений. Кроме того, результаты измерения продемонстрировали зависимость удельной массовой скорости выгорания от времени стабилизации горения. Экспериментальные данные легли в основу расчетной оценки времени срабатывания дифференциального теплового пожарного извещателя с адаптивным алгоритмом анализа температуры. Расчет производился для помещений высотой 3,5 м и 6 м. Данные о соотношении мощности очага и времени его обнаружения в помещениях различной высоты могут быть использованы при проектировании для поиска оптимального решения для системы автоматической противопожарной защиты.

**Ключевые слова:** пожарная сигнализация, тепловой пожарный извещатель, адаптивный алгоритм анализа температуры, удельная массовая скорость выгорания, моделирование пожара

### ESTIMATION 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 FLAMMABLE LIQUIDS

Aleksej A. Kornilov, Aleksandr A. Borodin

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

#### ABSTRACT

When developing automatic fire protection projects, the designer determines the predominant fire factor to ensure timely detection, without always having enough information to make a decision. An attempt was made to determine the approximate size of

the detected hearth (using the example of ethyl alcohol) in the time that may be acceptable to achieve the objectives of fire protection of the object. For a more reliable numerical simulation, a literature review and field experiments were conducted to determine the specific mass burnout rate of ethyl alcohol for foci of various diameters. The data obtained confirmed the dependence of the specific mass rate of burnout on the diameter of the hearth, for small foci it turned out to be significantly lower than the reference values. In addition, the measurement results demonstrated the dependence of the specific mass rate of burnout on the time of gorenje stabilization. The data obtained formed the basis for a calculated estimate of the response time of a differential thermal fire detector with an adaptive temperature analysis algorithm. The calculation was performed for rooms with a height of 3.5 m and 6 m. Data on the ratio of the power of the hearth and the time of its detection in rooms of different heights can be used in the design to find the optimal solution for an automatic fire protection system.

**Keywords:** fire alarm system, thermal fire detector, adaptive analysis algorithm, specific mass burnout rate, fire simulation

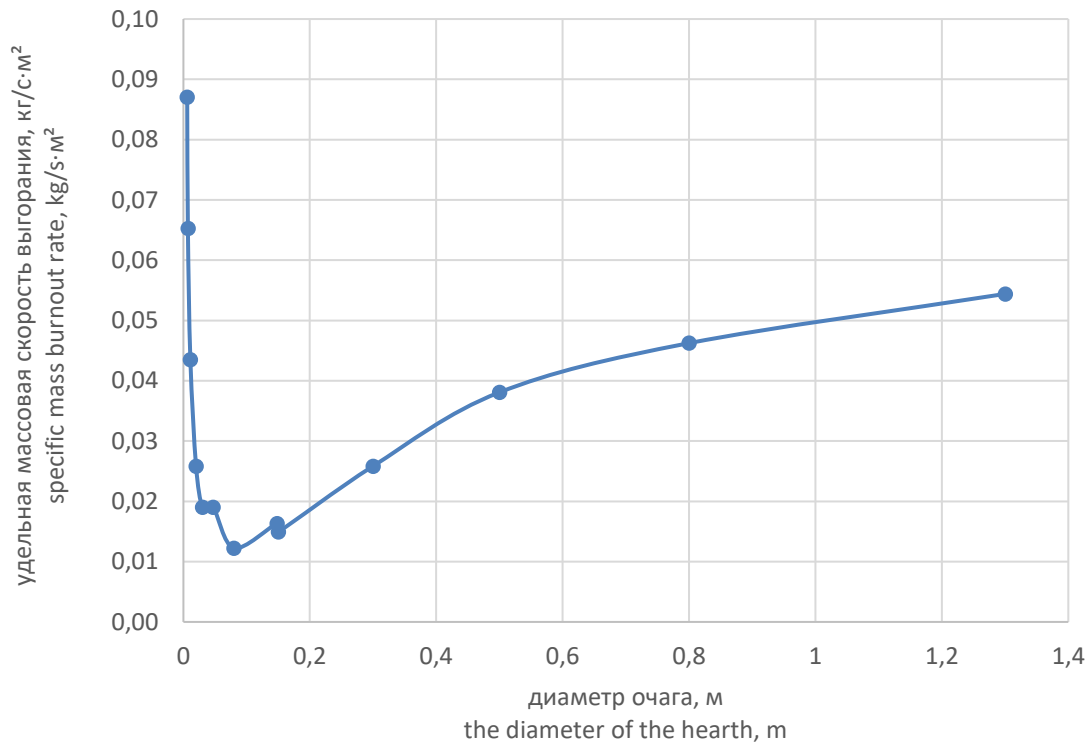
Для промышленных объектов требование о применении взрывозащищенного электрооборудования зачастую обусловлено обращением легковоспламеняющихся или горючих жидкостей. При разработке проектов автоматической противопожарной защиты, руководствуясь требованиями [1, 2], проектировщик определяет преобладающий фактор пожара для обеспечения своевременности его обнаружения. При этом в случае воспламенения горючих жидкостей могут присутствовать одновременно несколько факторов, которые обеспечат достаточно быстрое срабатывание разных типов извещателей, тогда критериями выбора могут быть одновременно своевременность обнаружения и помехоустойчивость. Нередко выбор делается в пользу тепловых пожарных извещателей. Для них характерны простота конструкции, монтажа и пусконаладочных работ, низкая стоимость, устойчивость к помехам и агрессивному воздействию, обусловленному технологическим процессом. Однако по опыту анализа динамики опасных факторов пожара процессы нагрева среды помещения и распространения нагретых продуктов горения весьма инерционны. И там, где срабатывание теп-

лового извещателя может занять продолжительное время, извещатель пламени, например, справился бы в течение нескольких секунд. Поэтому для того, чтобы помочь проектировщику сделать выбор способа обнаружения пожара основанным на более конкретных параметрах, была предпринята попытка определить ориентировочные размеры обнаруживаемого очага (на примере этилового спирта) за время, которое может быть приемлемым для достижения целей противопожарной защиты объекта при использовании конкретного типа изделия, а именно: максимально-дифференциального теплового извещателя с адаптивным алгоритмом анализа [3, 4], в том числе с учетом его тепловой инерционности. Ранее авторами уже рассматривался вопрос оценки времени обнаружения возгорания твердых горючих материалов (на примере древесины) с учетом равномерного увеличения линейной скорости распространения пламени на начальной стадии пожара [5].

Одним из основных параметров, влияющих на мощность очага, является удельная массовая скорость выгорания ( $\Psi_{уд}$ ). При моделировании горения очага с небольшим диаметром можно воспользо-

зваться справочными данными о величине  $\Psi_{уд.}$ , однако результаты исследований процесса горения горючих жидкостей [6–12] говорят о том, что на данный параметр влияет несколько факторов, одним из которых является переход из ламинарного в турбулентный режим горения при

увеличении диаметра очага. Данную особенность можно наглядно продемонстрировать на примере скорости выгорания тракторного керосина в зависимости от диаметра очага согласно данным приведенным на рис.1 [6].



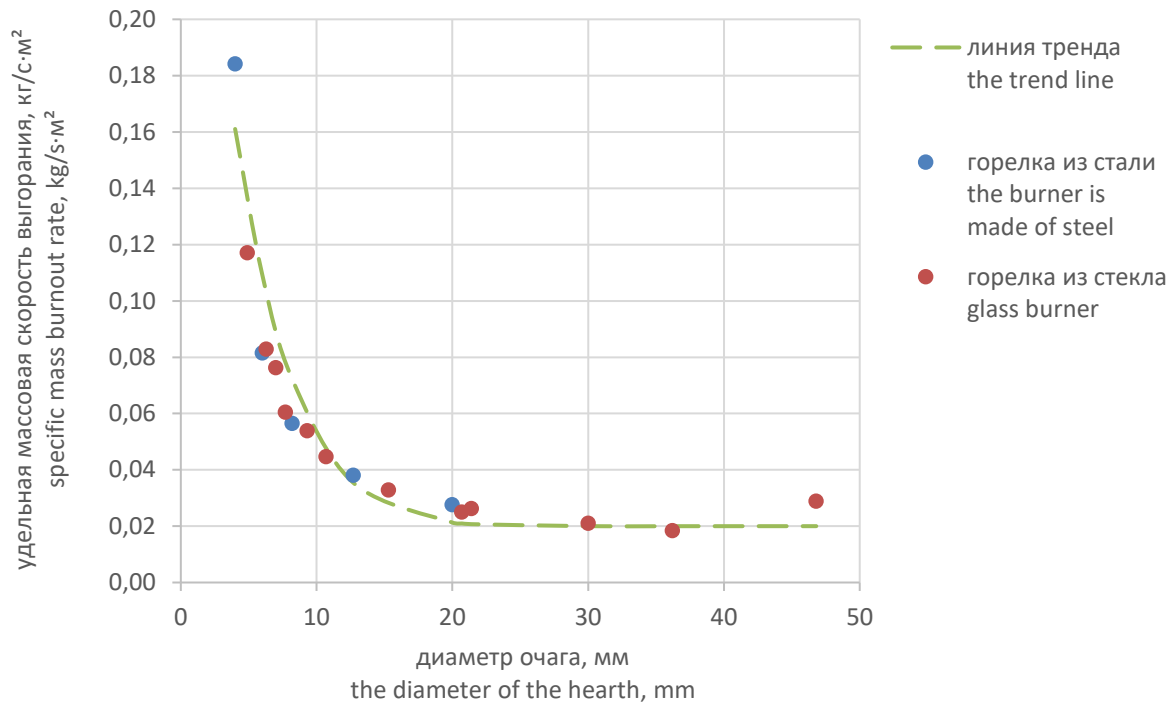
**Рис. 1.** Удельная массовая скорость выгорания тракторного керосина в зависимости от диаметра очага согласно данным [6]

**Fig. 1.** Specific mass burnout rate of tractor kerosene depending on the diameter of the burner according to [6]

В тестовом очаге ТП-6 площадью  $0,19 \text{ м}^2$  (эффективный диаметр около  $0,5 \text{ м}$ ) согласно [13] используется этиловый спирт, данные об удельной массовой скорости выгорания которого в разных источниках варьируются в весьма широком диапазоне. Например, согласно данным [14] часто используемым при проведении оценки динамики опасных факторов пожара в рамках расчетов пожарного риска, эта величина составляет  $0,031 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$ . В работах [15, 16] приводится величина  $0,033 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$ . Согласно данным справочника [17] она составляет  $0,037 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$ . В [10, 19 – 23] указан диапазон значений для резервуаров диаметром более  $1,3 \text{ м}$ ,

приблизительно соответствующий  $0,027 \div 0,033 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$ . Автор [18] приводит значение, равное  $0,04 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$ . В работе [24] при моделировании очага с этанолом площадью  $0,14 \text{ м}^2$  удельная массовая скорость выгорания изменялась линейно до максимального значения  $0,021 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$ . По мнению автора [25], данные об установившейся скорости выгорания различных горючих жидкостей, представленные в [14], относятся к очагам с эквивалентным диаметром  $\geq 1 \text{ м}$ . Согласно исследованиям [6] удельная массовая скорость выгорания этилового спирта в значительной степени зависит от размера очага, эксперименталь-

ные данные, полученные с помощью горелок небольшого диаметра, представлены на рис. 2.



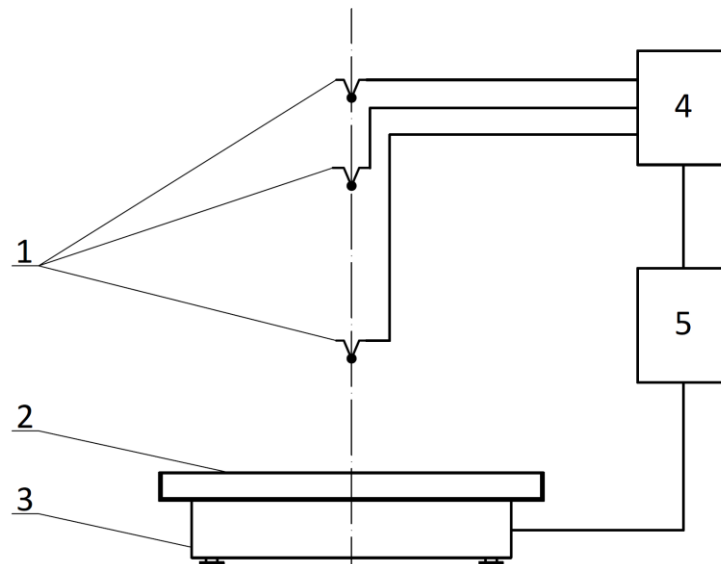
**Рис. 2.** Удельная массовая скорость выгорания этилового спирта в зависимости от диаметра горелки согласно данным [6]

**Fig. 2.** The specific mass burn-out rate of ethyl alcohol depending on the diameter of the burner according to the data [6]

Авторы [25, 26] справедливо указывают на то, что в начальной стадии пожара изменение температуры среды и парциальной плотности кислорода не окажет влияния на процесс неустановившегося горения ГЖ, следовательно, для численного моделирования могут быть применены данные об удельной массовой скорости выгорания в неограниченном пространстве. Время срабатывания системы обнаружения, если правильно выбран и размещен пожарный извещатель, будет меньше критической продолжительности

пожара и времени стабилизации процесса горения очага. Поэтому интересно изменение массовой скорости выгорания не только в зависимости от размера очага, но и от длительности начального периода.

Для проведения испытания был подготовлен стенд, схема которого изображена на рис. 3. Испытания проводились на открытом воздухе в безветренную погоду. Для тестовых очагов использовались стальные емкости размерами, приведенными в табл. 1.



**Рис. 3.** Схема экспериментального стенда. 1 – термопары на высоте 0,2 м, 0,6 м и 0,9 м над очагом; 2 – очаги различного размера; 3 – электронные лабораторные весы; 4 – электронный самописец; 5 – запоминающее устройство

**Fig. 3.** 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 – foci of various sizes; 3 – electronic laboratory scales; 4 – an electronic recorder; 5 – a storage device

**Таблица 1.**  
Размеры тестовых очагов  
**Table 1.**  
Dimensions of test foci

№	Геометрические размеры		Эффективный диаметр, м Effective diameter, m	Площадь поверхности горения, м <sup>2</sup> Gorenje surface area, m <sup>2</sup>
	диаметр, м diameter, m	длина×ширина, м length×width, m		
1	0,061	-	0,061	0,003
2	0,100	-	0,100	0,008
3	0,216	-	0,216	0,037
4	-	0,33 × 0,33	0,372	0,11
5	-	0,435 × 0,435	0,491	0,19
6	-	0,6 × 0,6	0,677	0,36

Анализ результатов проводился двумя способами. Посредством усреднения с начала наблюдения по формуле (1) и методом скользящего среднего за период времени 30 с по формуле (2) (условно назовем мгновенной удельной массовой скоростью выгорания):

- средняя с момента начала наблюдения:

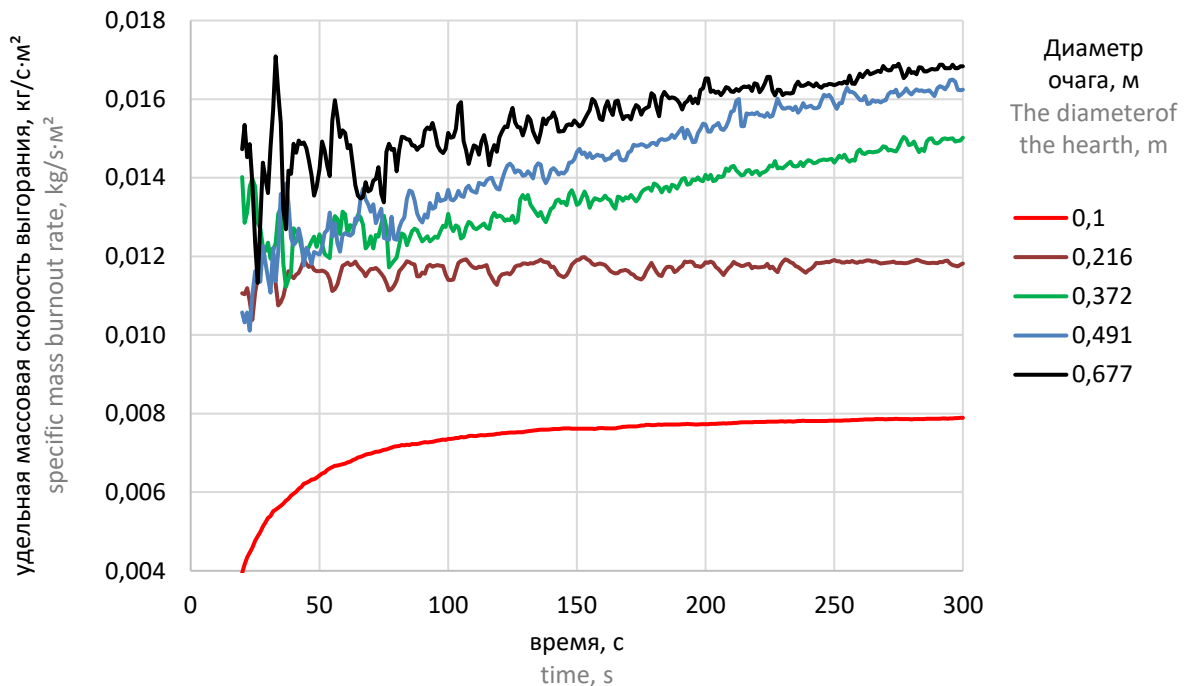
$$\Psi_{уд i} = \frac{m_0 - m_i}{0,25 \cdot \pi \cdot d_{эф} \cdot \tau_i}, \quad (1)$$

- за период времени (условно, мгновенная):

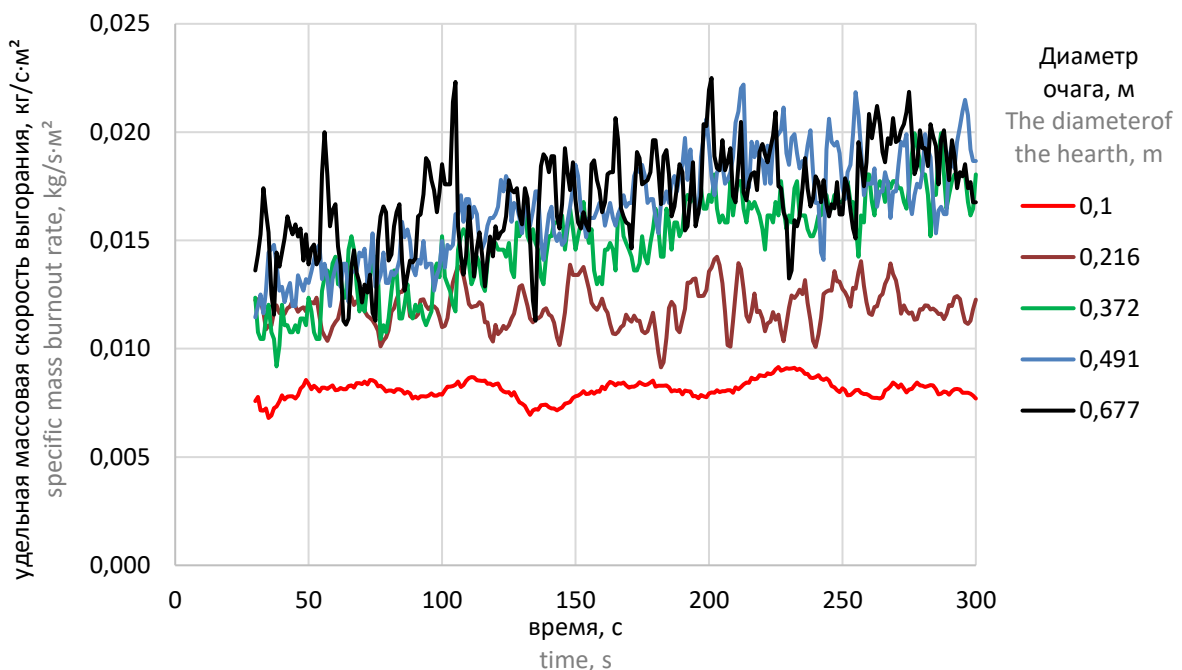
$$\psi_{уд i}^l = \frac{m_i - m_{i-30}}{0,25 \cdot 30 \cdot \pi \cdot d_{эф}}, \quad (2)$$

где  $m_0$ ,  $m_i$ ,  $m_{i-30}$  – масса очага на момент времени соответственно 0,  $\tau_i$ ,  $\tau_i - 30$ , с;  
 $d_{эф}$  – эффективный диаметр очага, м.

Результаты анализа по формулам (1) и (2) приведены на рис. 4 и 5 соответственно.



**Рис. 4.** Изменение средней массовой скорости выгорания, вычисленной по формуле (1)  
**Fig. 4.** The change in the average mass burnout rate, calculated by the formula (1)



**Рис. 5.** Изменение мгновенной массовой скорости выгорания, вычисленной по формуле (2)  
**Fig. 5.** The change in the instantaneous mass burnout rate, calculated by the formula (2)

Полученные данные свидетельствуют о том, что величина  $\Psi_{уд}$  для небольших очагов существенно ниже справочных значений. Применение заведомо

больших значений массовой скорости выгорания при численном моделировании может привести к чрезмерно быстрому

развитию конвективной колонки над очагом пожара [24]. В свою очередь, это повлечет получение заведомо меньшего времени достижения порога срабатывания теплового извещателя и негативно отразится на объективности оценки эффективности внедрения той или иной системы противопожарной защиты.

Кроме того, результаты измерения демонстрируют зависимость  $\Psi_{уд}$  от времени стабилизации горения. Рост скорости выгорания растет с увеличением температуры ГЖ, поскольку снижаются затраты тепла на прогрев жидкости до температуры кипения [19]. Для математического моделирования динамики опасных факторов пожара в научной и учебной литературе [14, 20, 25, 27] часто рассматриваются две основные формулы, приблизительно характеризующие изменение  $\Psi_{уд}$  в период стабилизации горения:

$$\Psi_{уд} = \Psi_{ст} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\tau_{ст}}}, \quad (3)$$

$$\Psi_{уд} = \Psi_{ст} \left( 0,3 + 0,7 \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\tau_{ст}}} \right), \quad (4)$$

где  $\Psi_{ст}$  – установившаяся (стабилизировавшаяся) удельная массовая скорость выгорания, кг/м<sup>2</sup>·с;

$\tau_{ст}$  – время стабилизации горения, с;

$d_{эф}$  – эффективный диаметр очага, м.

В работе [25] приводятся данные о том, что время стабилизации горения слоя ГЖ толщиной 2–5 см может быть принято равным 15 мин. В рекомендациях [28] значение  $\tau_{ст}$  принимается в зависимости от температуры кипения жидкости:

- до 100 °С – 180 с;

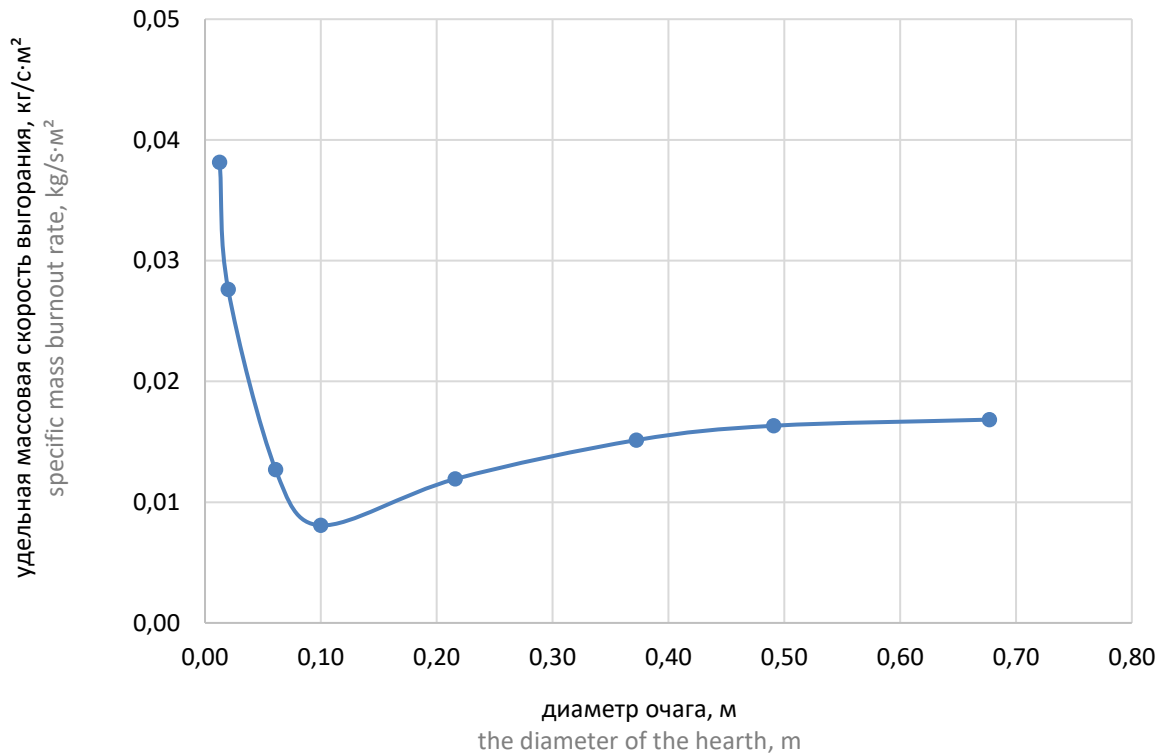
- от 101 до 150 °С – 240 с;

- более 150 °С – 360 с.

По формуле (3)  $\Psi_{уд}$  на начальном этапе будет стремиться к нулю, что не соответствует действительности, если пренебречь периодом распространения пламени по поверхности зеркала ГЖ. С учетом данных на рис. 4 и 5 подход, реализованный в формуле (4), представляется более правильным для определения  $\Psi_{уд}$  в конкретный момент времени, однако в этом случае для каждой горючей жидкости, кроме времени стабилизации горения, необходимо значение коэффициентов в скобках. Достоверная оценка скорости выгорания в течение первых секунд с момента воспламенения ограничивается погрешностью и чувствительностью средств измерения, поэтому оценить его можно лишь приблизительно.

По данным рис. 5 можно отметить, что по мере увеличения диаметра очага и, как следствие, удельной массовой скорости выгорания и турбулентности увеличивалась и скорость роста  $\Psi_{уд}$  на начальной стадии. Для очагов эффективным диаметром 0,372 м и более (воздействие которых вероятнее всего приведет к срабатыванию теплового максимально-дифференциального извещателя за приемлемое время) рост средней  $\Psi_{уд}$  с первой до пятой минуты составлял 12–30 %.

С учетом данных [6] для горелок из стали и полученных в настоящей работе экспериментальных значений в течение первых 300 с можно построить зависимость  $\Psi_{уд}$  от диаметра очага (рис. 6). Полученная зависимость имеет качественно схожий характер с данными о  $\Psi_{уд}$  тракторного керосина (рис. 1).



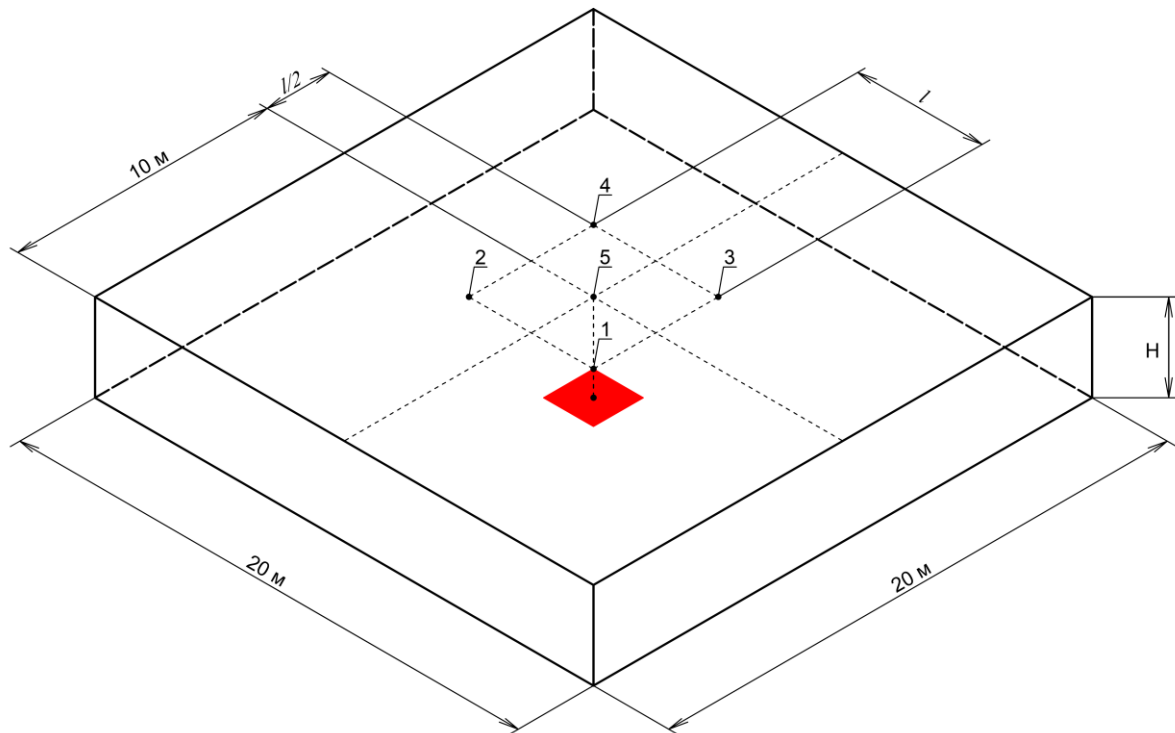
**Рис. 6.** Удельная массовая скорость выгорания этилового спирта с учетом данных [6]

Fig. 6. Specific mass burnout rate of ethyl alcohol, taking into account the data of [6]

Основные результаты измерений удельной массовой скорости выгорания, представленные на рис. 4, легли в основу моделирования по определению размера очага, который может быть обнаружен тепловым максимально-дифференциальным извещателем за время, способное обеспечить эффективность проектируемой системы автоматической противопожарной защиты. 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 и 6 м, в качестве горючей

нагрузки принят этиловый спирт, основные пожароопасные характеристики приняты согласно [14] и полученным экспериментальным значениям  $\Psi_{уд}$  для очагов различного размера. Извещатели равноудалены от очага пожара и расположены на максимальном нормативном расстоянии друг от друга в соответствии с требованиями [2], очаг расположен в центре помещения (рис. 7). Расчет проводился последовательно для нескольких очагов, время обнаружения которых может быть приемлемым для достижения целей противопожарной защиты объекта.





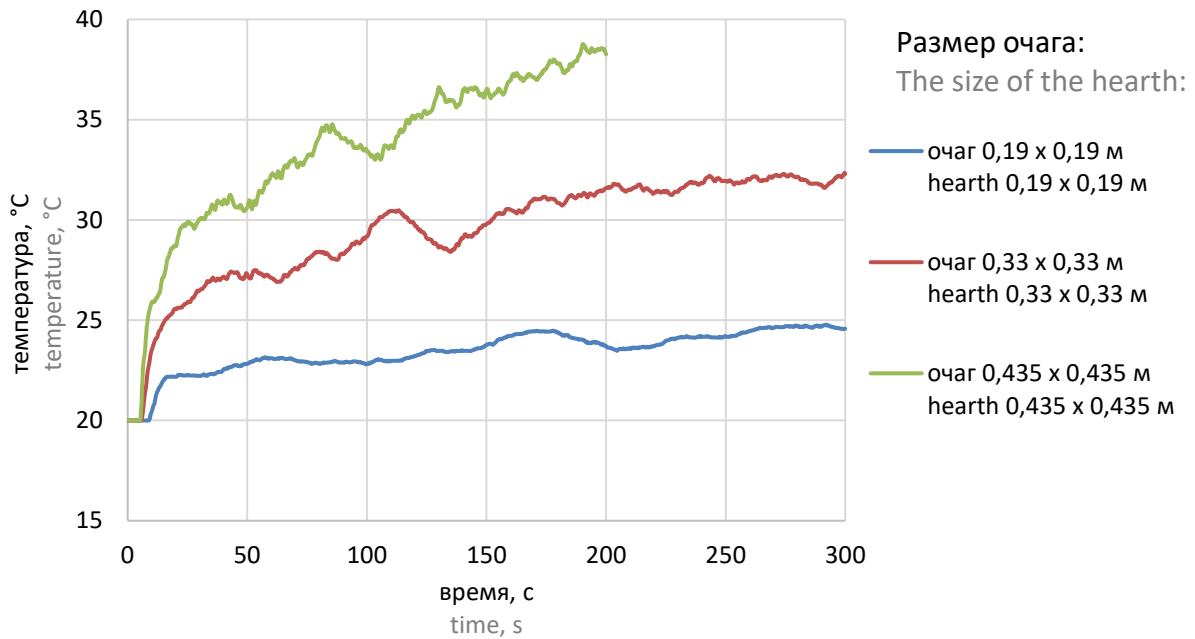
**Рис. 7.** Схема размещения расчетных точек  
**Fig. 7.** Layout of settlement points

Для высоты помещения до 3,5 м, длиной и шириной более 10 м максимальное расстояние между тепловыми извещателями (величина  $l$  на рис. 7) приблизительно составляет 5 м, для высоты помещения от 3,5 до 6 м – 4,5 м [2]. Основные результаты расчетов приведены на рис. 9, 10 и табл. 2.

Размещение извещателя в точке 5 (непосредственно над очагом) является фактически наилучшим условием для его срабатывания, поэтому можно говорить о том, что время обнаружения пожара будет находиться в диапазоне между временем срабатывания в точке 5 и точках 1–4. Примеры графиков температур в расчетных точках для очагов разного размера приведены на рис. 8 и 9, для наглядности приведена динамика средних температур

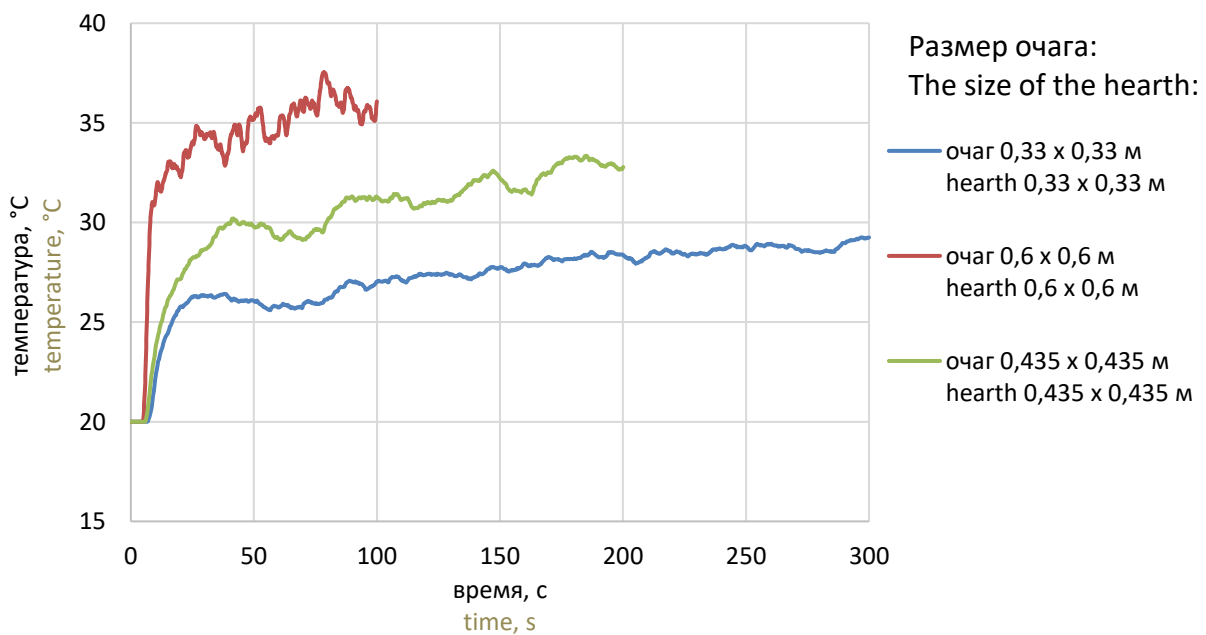
в точках 1–4 для очагов различной мощности.

Адаптивный алгоритм анализа температуры теплового максимально-дифференциального извещателя [3, 4] позволяет нивелировать влияние нестационарного температурного режима на принятие решения о пожаре, позволяет отслеживать колебания температуры, оценивать их соответствие возможной динамике роста температуры на начальной стадии пожара и делать вывод на основе оценки совокупности значений с момента начала роста температуры. Расчетное время срабатывания данного извещателя по дифференциальному принципу анализа температуры и настройке чувствительности на максимальный уровень представлено в табл. 2. При этом учитывалась его тепловая инерционность.



**Рис. 8.** Динамика средней температуры в точках 1–4 в помещении высотой 3,5 м для очагов различного размера

**Fig. 8.** The dynamics of the average temperature at points 1–4 in a room with a height of 3,5 m for foci of various sizes



**Рис. 9.** Динамика средней температуры в точках 1–4 в помещении высотой 6 м для очагов различного размера

**Fig. 9.** The dynamics of the average temperature at points 1–4 in a room with a height of 6 m for foci of various sizes

Таблица 2

Расчетное время срабатывания максимально-дифференциального извещателя с адаптивным алгоритмом анализа температуры [3, 4]

Table 2

The estimated response time of the maximum differential detector with an adaptive temperature analysis algorithm [3, 4]

Высота помещения, м Room height, m	Размер очага, м The size of the hearth, m	Площадь очага, м <sup>2</sup> Hearth area, m <sup>2</sup>	Тепловая мощность очага, кВт Heat output of the hearth, kW	Расчетное время срабатывания в точках, с Estimated response time in points, s	
				5	1–4
3,5	0,19 × 0,19	0,037	12,0	8	-
3,5	0,33 × 0,33	0,11	45,3	6	105–109
3,5	0,435 × 0,435	0,491	85,0	6	19–35
6	0,33 × 0,33	0,11	45,3	7	-
6	0,435 × 0,435	0,491	85,0	7	34–56
6	0,6 × 0,6	0,677	166,3	7	9–11

Примечание: символ «-» означает отсутствие срабатывания в течение расчетного периода 300 с.

В первую очередь следует отметить, что достижение порога максимального теплового извещателя происходит значительно дольше, это отчетливо видно по результатам численного моделирования (рис. 8 и 9).

Полученные данные, безусловно, не являются исчерпывающими и не учитывают особенности конкретного объекта защиты, объемно-планировочных решений, особенностей технологического процесса, работу систем вентиляции и т. п. Они дают лишь ориентировочные сведения о возможном времени реагирования дифференциального теплового извещателя с адаптивным алгоритмом анализа на очаг определенной мощности.

Оценка мощности очага выполнена исходя из более худших условий, учитывающих фактически меньшую удельную массовую скорость выгорания по сравнению со стандартными справочными значениями, обусловленную меньшей турбулентностью процесса горения очагов небольшого диаметра.

Полученные результаты могут помочь специалистам, разрабатывающим проектные решения систем автоматической противопожарной защиты, сопоставить эффективность технических средств обнаружения пожара и принять более взвешенное решение при выборе приемлемого варианта для конкретного объекта защиты.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Гарант.ру. URL: [ivo.garant.ru/#/document/12161584/](http://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. ИП101-07а-RS. Извещатель пожарный тепловой взрывозащищенный программируемый адресный. URL: <https://eridan.ru/catalog/product/ip101-07a-rs/> (дата обращения: 25.01.2024).
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023683265 Российская Федерация : заявлено 24.10.2023 : зарегистрировано 07.11.2023 / Корнилов А. А., Бородин А. А., Шульгин И. В., Шлыков Е. Д., Долговых К. С. ; правообладатель АО «ЭРИДАН».

5. Корнилов, А. А., Бородин, А. А. Оценка времени срабатывания максимально-дифференциального теплового пожарного извещателя с адаптивным алгоритмом анализа температуры на начальной стадии пожара твердых горючих материалов // Техносферная безопасность. 2023. № 4 (41). С. 90–104. URL: [https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%204%20\(41\)/8.pdf](https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%204%20(41)/8.pdf) (дата обращения: 17.01.2024).
6. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. М., 1961. 208 с.
7. Блинов В. И. О механизме горения нефтепродуктов в резервуарах // Новые способы и средства тушения пламени нефтепродуктов. М., 1960. С. 4–21.
8. Блинов В. И., Реутт В. Ч., Анисимов В. Е. Зависимость скорости сгорания жидкости от температуры на ее поверхности // Пожарная профилактика и пожаротушение. М., 1964. Вып. 1. 97 с.
9. Петров И. И., Реутт В. Ч. Тушение пламени горючих жидкостей. М., 1961. 143 с.
10. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М., 1980. 255 с.
11. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей : монография. М., 2007. 268 с.
12. Демидов П. Г. Основы горения веществ. М., 1951. 296 с.
13. ГОСТ 34698–2020. Межгосударственный стандарт. Извещатели пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний. Fire detectors. General technical requirements. Test methods : дата введения 01.07.2023.
14. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М., 2000. 118 с.
15. Молчадский И. С. Пожар в помещении. М., 2005. 456 с.
16. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М., 2012. 242 с.
17. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. М., 2004. Ч. 2. 774 с.
18. Драйздел Д. Введение в динамику пожаров. М., 1990. 424 с.
19. Процессы горения / А. С. Абдурагимов и др. М., 1984. 268 с.
20. Романенко П. Н., Кошмаров Ю. А., Башкирцев М. П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. М., 1977. 415 с.
21. Основы пожарной теплофизики / М. П. Башкирцев и др. М., 1984. 200 с.
22. Бобков С. А., Бабурин А. В., Комраков П. В. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М., 2014. 210 с.
23. Алексеев М. В., Демидов П. Г., Ройтман М. Я. Основы пожарной безопасности. М., 1971. 248 с.
24. Рыжов А. М. Полевые модели пожаров // Моделирование пожаров и взрывов. М., 2000. 482 с.
25. Кошмаров М. Ю. Моделирование динамики начальной стадии пожара в помещениях, зданиях и сооружениях при воспламенении горючей жидкости : дисс. ... канд. техн. наук. М., 2004. 195 с.
26. Колодяжный С. А. Прогнозирование времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара в многофункциональных центрах : дисс. ... д-ра техн. наук. М., 2017. 269 с.
27. Прогнозирование опасных факторов пожара / Ю. А. Кошмаров и др. М., 1997. 68 с.
28. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа : рекомендации. М., 2004. 96 с.

#### 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/](http://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. IP101-07a-RS. Fire detector thermal explosion-proof programmable addressable. URL: <https://eridan.ru/catalog/product/ip101-07a-rs/> (date of application – 25.01.2024). (rus).
4. 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).
5. Kornilov A.A., Borodin A.A. Estimation 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 // Technosphere safety. 2023. № 4 (41): 90-104. URL: [https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%204%20\(41\)/8.pdf](https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%204%20(41)/8.pdf) (date of application: 17.01.2023). (rus).
6. Blinov V.I., Khudyakov G.N. Diffusion gorenje liquids. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1961; 208. (rus).

7. Blinov V.I. On the mechanism of combustion of petroleum products in reservoirs. Gorenje In the book: New ways and means of extinguishing the flame of petroleum products. Collection of articles. Moscow, State Technical Publishing House, 1960; 4–21. (rus).
8. Blinov V.I., Reutt V.Ch., Anisimov V.E. Dependence of the combustion rate of a liquid on the temperature on its surface. Fire prevention and firefighting. Information collection. Issue 1. Moscow, Stroyizdat, 1964; 97. (rus).
9. Petrov I.I., Reutt V.Ch. Extinguishing the flame of flammable liquids. Moscow, Publishing house of Moscow communes. farms of the RSFSR, 1961; 143. (rus).
10. 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).
11. Gorshkov V.I. Extinguishing the flame of flammable liquids: monograph. Moscow, POZHNAUKA, 2007; 268. (rus).
12. Demidov P.G. Fundamentals of gorenje substances. Moscow, Publishing house of the Moscow Commune. farms of the RSFSR, 1951; 296. (rus).
13. 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).
14. Koshmarov Yu.A. Forecasting of fire hazards in the room: A textbook. Moscow, AGPS MVD Of Russia, 2000; 118. (rus).
15. Molchadskij I.S. Indoor fire. Moscow, VNIPO, 2005; 456. (rus).
16. Manual for determining the calculated values of fire risk for industrial facilities. Moscow, VNIPO, 2012; 242. (rus).
17. Korolchenko A.Ya., Korolchenko D.A. Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them. The handbook is in 2 volumes. II:774. (rus).
18. Dreisdel D. Introduction to the dynamics of fires / translated from the English by K.G. Bomstein; edited by Yu.A. Koshmarov, V.E. Makarov. Moscow, Stroyizdat, 1990; 424. (rus).
19. Abduragimov, A.S. Androssov, L.K. Isaeva, E.V. Krylov. Gorenje processes: studies. handbook for universities of the Ministry of Internal Affairs of the USSR, edited by I.M. Abduragimov. Moscow, VIPTSH, 1984; 268. (rus).
20. Romanenko P.N., Koshmarov Yu.A., Bashkirtsev M.P. Thermodynamics and heat transfer in fire fighting: textbook for universities of the Ministry of Internal Affairs of the USSR. Moscow, VIPTSH, 1977; 415. (rus).
21. Bashkirtsev M.P., Bubyr N.F., Minaev N.A., Onchukov D.N. Fundamentals of fire thermophysics: textbook for fire technical schools. Moscow, Stroyizdat, 1984; 200. (rus).
22. Bobkov S.A., Baburin A.V., Komrakov P.V. Physico-chemical foundations of fire development and extinguishing: textbook. Manual. Moscow, AGPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2014; 210. (rus).
23. Alekseev M.V., Demidov P.G., Roitman M.Ya. Fundamentals of fire safety. Textbook for higher educational institutions. Moscow, Higher School, 1971; 248. (rus).
24. Ryzhov A.M. Field models of fires (in the book "Modeling of fires and explosions" edited by N.N. Brushlinsky and A.Ya. Korolchenko. Moscow, Publishing house "Pozhnauka", 2000; 482. (rus).
25. Koshmarov M.Y. Modeling of the dynamics of the initial stage of a fire in rooms, buildings and structures during ignition of a flammable liquid: dis. ... candidate of Technical Sciences: 05.26.03. 2004; 195. (rus).
26. Kolodyazhny S.A. Forecasting the time of blocking evacuation routes by dangerous fire factors in multifunctional centers: dis. ... doctor of Technical Sciences: 05.26.03. 2017; 269. (rus).
27. Koshmarov Yu.A., Zotov Yu.S., Andreev V.V., Puzach S.V. Forecasting of fire hazards: laboratory workshop. Moscow, MIPB of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 1997; 68. (rus).
28. Fire automation equipment. The scope of application. Type selection: Recommendations. Moscow, VNIPO, 2004; 96. (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;

#### 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.

РИНЦ ID: 716627; Scopus Author ID: нет;  
Re-searcher ID: нет; ORCID: нет;  
e-mail: [a.kornilov@eridan.ru](mailto:a.kornilov@eridan.ru)

**Бородин Александр Александрович**,  
кандидат технических наук, доцент. Ру-  
ководитель группы «Системные реше-  
ния», АО «Эридан». Россия, 623704,  
Свердловская область г. Березовский,  
ул. Транспортников, стр. 43;  
РИНЦ ID: 716150; Scopus Author ID: нет;  
Re-searcher ID: нет; ORCID: нет;  
e-mail: [a.borodin@eridan.ru](mailto:a.borodin@eridan.ru)

ID RISC: 716627; Scopus Author ID: none;  
Re-searcher ID: none; ORCID: none;  
e-mail: [a.kornilov@eridan.ru](mailto:a.kornilov@eridan.ru)

**Aleksandr A. Borodin**, Cand. Sci. (Eng.),  
Associate Professor. Head of the "System  
Solutions" group, JSC «E`ridan».  
Transportnikov St., 43, Berezovskij, Sverd-  
lovsk region, 623704, Russian Federation.  
ID RISC: 716150; Scopus Author ID: none;  
Re-searcher ID: none; ORCID: none;  
e-mail: [a.borodin@eridan.ru](mailto:a.borodin@eridan.ru)