
ПОЖАРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 614.849; DOI: 10.61260/2218-13X-2025-3-1-12

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЫМА И ЛОЖНЫХ ФАКТОРОВ НА СРАБАТЫВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

✉ Рахматуллина Элина Фанисовна;

Пермяков Арсений Владимирович;

Хафизов Ильдар Фанилевич;

Хафизов Фаниль Шамилевич.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

✉ rahmatullina_elina@mail.ru

Аннотация. Актуальной задачей в области обеспечения безопасности зданий и сооружений является создание надёжной и эффективной пожарной сигнализации. Несмотря на широкое распространение различных систем автоматической пожарной сигнализации, многие датчики характеризуются высокой чувствительностью к нецелевым факторам (пыли, влажности, освещённости), что приводит к ложным срабатываниям. Современные исследования предлагают усреднённые подходы к детектированию дыма, однако в них, как правило, не учитываются динамические особенности распространения дыма и влияние посторонних факторов. Таким образом, остаётся нерешённым вопрос количественной взаимосвязи между концентрацией дыма, действием ложных факторов и временем срабатывания автоматической пожарной сигнализации. Цель исследования – разработка математической модели, описывающей такую зависимость, и алгоритма, позволяющего повысить точность и надёжность срабатывания извещателей. Разработана математическая модель, описывающая процессы конвекции и диффузии дыма в замкнутом пространстве, а также влияние внешних факторов на сигнал датчика. Приведены уравнения для расчёта концентрации аэрозоля и математическая модель сигнала, включающая вклад ложных факторов и концентрации дыма. Разработан алгоритм детектирования задымления, позволяющий предсказать время срабатывания датчика и оценить вероятность ложных тревог. Разработанная математическая модель сигнала датчика, учитывающая концентрацию дыма и ложные факторы, а также предложенный алгоритм детектирования задымления, могут быть использованы для настройки чувствительности

Ключевые слова: пожарная сигнализация, концентрация дыма, датчики, ложные факторы, модель конвекции-диффузии, алгоритм детектирования, оптимизация чувствительности

Благодарности: авторы выражают признательность коллегам за помощь.

Для цитирования: Рахматуллина Э.Ф., Пермяков А.В., Хафизов И.Ф., Хафизов Ф.Ш. Влияние концентрации дыма и ложных факторов на срабатывание автоматической пожарной сигнализации // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2025. № 3. С. 1–12. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-3-1-12.

Scientific article

INFLUENCE OF SMOKE CONCENTRATION AND FALSE FACTORS ON THE ACTIVATION OF AUTOMATIC FIRE ALARMS✉ **Rahmatullina Elina F.;****Permyakov Arsenij V.;****Hafizov Il'dar F.;****Hafizov Fanil' Sh.****Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia**✉ ***rahmatullina_elina@mail.ru***

Abstract. A pressing challenge in ensuring the safety of buildings and structures is the development of reliable and efficient fire alarm systems. Despite the widespread use of various automatic fire alarm systems, many sensors exhibit high sensitivity to non-target factors such as dust, humidity, and lighting, leading to false alarms. Contemporary research often employs generalized approaches to smoke detection but typically does not account for the dynamic features of smoke propagation and the influence of external interferences. As a result, the quantitative relationship between smoke concentration, false factors, and automatic fire alarm systems response time remains unresolved. The aim of this study is to develop a mathematical model describing this relationship and an algorithm that enhances the accuracy and reliability of sensor activation. A mathematical model has been developed to describe convection and diffusion processes of smoke in an enclosed space, as well as the influence of external factors on the sensor signal. Equations are provided for calculating aerosol concentration, and a mathematical signal model is presented that incorporates the impact of false factors and smoke concentration. A smoke detection algorithm was developed to predict sensor activation time and estimate the probability of false alarms. The proposed mathematical model of the sensor signal, which accounts for smoke concentration and false factors, along with the smoke detection algorithm, can be used to calibrate the sensitivity of fire detectors, improve the accuracy of smoke detection, and reduce the number of false alarms.

Keywords: fire alarm, smoke concentration, sensors, false factors, convection-diffusion model, detection algorithm, sensitivity optimization

Acknowledgements: the authors would like to thank their colleagues for their help.

For citation: Rahmatullina E.F., Permyakov A.V., Hafizov I.F., Hafizov F.Sh. Influence of smoke concentration and false factors on the activation of automatic fire alarms // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2025. № 3. P. 1–12. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-3-1-12.

Введение

Вопросы обеспечения пожарной безопасности имеют первостепенное значение в промышленных, общественных и жилых зданиях. Одним из важных компонентов комплекса пожарной безопасности являются системы автоматической пожарной сигнализации (АПС), способные обнаруживать задымление и оперативно оповещать о возникновении пожара.

Скорость срабатывания АПС в значительной степени определяется концентрацией дыма в помещении. Этот показатель является определяющим фактором в работе датчиков пожарной сигнализации в соответствии с требованиями международного стандарта EN 54–7, ГОСТ Р 53325–2012, ГОСТ 34698–2020 [1–3].

В последние годы наблюдается устойчивый рост рынка пожарной сигнализации, что обусловлено как усилением нормативных требований, так и увеличением спроса на интеллектуальные системы пожарной безопасности.

По результатам различных исследований [4] мировой спрос на рынке систем пожарной сигнализации достигнет 46,18 млрд долл. США к 2030 г. по сравнению с 28,56 млрд долл. США в 2022 г. Среднегодовой темп роста составляет 6,19 % в период исследования 2023–2030 гг.

Анализ работы систем пожарной сигнализации по статистическим данным МЧС России за 2023 г. [5] показывает, что значительная часть неисправностей или задержек в срабатывании системы приводит к существенным материальным потерям. Суммарный ущерб и количество случаев, связанных с неэффективностью работы систем пожарной сигнализации, включая задержки в подаче сигнала и полное их отсутствие приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты работы (состояние) пожарной автоматики при пожарах в 2023 г. (всего)

Результаты работы (состояние) пожарной автоматики	Количество пожаров (ед.)	Прямой ущерб (тыс. руб.)	Усредненный ущерб на случай (тыс. руб.)
Сработала и подала сигнал о пожаре, став первоначальным источником сведений	2007	1594138	794,29
Сработала и подала сигнал о пожаре после получения информации из других источников	372	542837	1459,24
Исправна, но не сработала вследствие недостижения порога срабатывания	325	5473	16,84
Неисправна	111	204535	1842,66
ИТОГО	808	752845	931,74

Анализ табл. 1 подчеркивает важность своевременного срабатывания пожарной сигнализации. Наибольший усредненный ущерб приходится на ситуации, когда система полностью неисправна, или на значительные задержки в подаче сигнала. Такие случаи часто вызваны несовершенством конструкции, неправильной установкой или отсутствием регулярного обслуживания систем пожарной безопасности [6, 7].

Особое внимание уделяется разработке технологий раннего обнаружения пожаров, что позволяет значительно сократить время реагирования на инциденты. Системы, оснащенные интеллектуальными сенсорами и алгоритмами машинного обучения, способны отличать дым от пара, пыли или других аэрозолей, что минимизирует риск ложных срабатываний [8, 9]. Эти технологии находят широкое применение в крупных общественных и промышленных объектах.

Цель исследования – разработка математической модели, отражающей взаимосвязь между концентрацией дыма, действием ложных факторов и временем срабатывания АПС, а также алгоритма, позволяющего повысить точность и надёжность срабатывания извещателей.

Материалы и методы. Для достижения цели исследованы характеристики дыма, определяющие его детектирование, изучены современные технологии обнаружения дыма и проанализированы различные типы датчиков дыма. Полученные результаты позволили предложить рекомендации по оптимизации работы систем пожарной сигнализации для повышения их оперативности и надёжности.

Результаты исследования

1. Обзор существующих датчиков обнаружения дыма

Эффективность системы обнаружения дыма определяется технологией и принципом действия используемых датчиков: ионизационных, фотоэлектрических, комбинированных (ионизационно-фотоэлектрических), аспирационных и лучевых (линейных) [5].

Пороговые значения концентрации дыма зависят от типа датчиков: оптические реагируют при 0,03–0,1 мг/м³, ионизационные – при 0,01 мг/м³. Лазерные технологии линейных и аспирационных датчиков обеспечивают обнаружение дымовых частиц наноразмеров.

Классификация дымовых датчиков, принцип действия, достоинства и недостатки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Классификация дымовых датчиков

Название датчика	Принцип действия	Достоинства	Недостатки	Диапазон чувствительности (%/м)
Ионизационный дымовой датчик [9]	Использует радиоактивный источник (обычно америций-241) для ионизации воздуха; при попадании дыма изменяется ионизационный ток	Высокая чувствительность к мелкодисперсным частицам, образующимся при пламенном горении; относительно низкая стоимость	Содержит радиоактивный источник, требующий особой утилизации; может давать ложные срабатывания при кухонном дыме и других мелких аэрозолях	1,6–6,6
Фотоэлектрический дымовой датчик [10]	Измерение интенсивности светового потока: рассеяние или затухание светового луча при прохождении через дымовую камеру датчика. Дым уменьшает интенсивность светового потока, что фиксируется	Высокая чувствительность к тлению и медленно развивающимся очагам возгорания; более стабильная работа в бытовых условиях	Менее чувствителен к мелким частицам пламенного горения; в ряде случаев более поздний отклик на быстротекущие пламенные пожары	6,6–19,7
Комбинированный (ионизационно-фотоэлектрический) дымовой датчик [11]	Сочетает в себе ионизационный и оптический принципы детектирования дыма	Объединяет преимущества обоих типов датчиков; повышенная надёжность за счёт реагирования на широкий спектр частиц дыма	Более высокая стоимость; более сложная конструкция; возможно повышенное энергопотребление [8]	3,3–13,1
Аспирационный дымовой датчик [12]	Постоянный отбор проб воздуха через трубопроводы с высокочувствительными оптическими сенсорами (часто лазерными), реагирующими на крайне низкие концентрации дыма	Исключительно высокая чувствительность; возможность обнаружения зачаточных стадий возгорания; детекция на больших расстояниях	Более высокая стоимость; необходимость сложной установки и калибровки; возможны ложные срабатывания при повышенном содержании пыли	<1,64, иногда 0,066–0,33
Лучевой (линейный) дымовой датчик [13]	Использует передатчик и приёмник (или отражатель) для формирования оптического луча через защищаемую зону; снижение интенсивности сигнала при попадании дыма свидетельствует о возгорании	Возможность контроля больших площадей; удобство применения в высоких помещениях; минимизация количества точечных датчиков [14]	Требуется к стабильности оптического канала (влияние пыли на оптику, вибрации, выравнивание датчиков); относительно высокая стоимость установок и обслуживания [15]	3,3–32,8

Анализ табл. 2 показал, что наиболее универсальными являются комбинированные и аспирационные датчики с высокой чувствительностью и возможностью раннего обнаружения пожара, однако их установка сложна, а стоимость высока. Ионизационные датчики менее эффективны для тлеющих материалов и подвержены ложным срабатываниям в условиях аэрозолей [6], а фотоэлектрические – менее чувствительны к мелкодисперсным частицам и могут давать сбои при ярком освещении или высокой влажности [7]. Лучевые датчики подходят для больших помещений, но их работа осложняется пылью и вибрациями.

2. Моделирование зависимости концентрации дыма и времени срабатывания АПС

2.1 Математическая модель распространения дыма

Распространение дыма в замкнутом пространстве можно описать с использованием уравнения конвекции-диффузии, которое учитывает процессы переноса, диффузии и источников задымления:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla C = D \nabla^2 C + Q,$$

где $\frac{\partial C}{\partial t}$ – изменение концентрации с течением времени, [мг/м³·с]; $\vec{v} \cdot \nabla C$ – конвективный перенос аэрозоля в направлении потока воздуха, [мг/м³·с]; $D \nabla^2 C$ – диффузия аэрозоля, [мг/м³·с]; Q – источник аэрозоля, связанный с интенсивностью горения, [мг/м³·с].

Упрощенное решение для концентрации в закрытом помещении с источником дыма:

$$C(t) = C_0 + \frac{R}{V}(1 - e^{-Vt}),$$

где C_0 – начальная концентрация аэрозоля, [мг/м³]; R – скорость выделения аэрозоля источником (интенсивность горения), [мг/с]; V – объемный поток воздуха, [м³/с]; t – время с момента начала пожара, с.

2.2. Учет ложных факторов срабатывания датчика $F(t)$

Ложные факторы $F(t)$ учитываются как сумма отдельных вкладов:

$$F(t) = \sum_{i=1}^n f_i(t),$$

где $f_i(t)$ – функция, описывающая влияние i -го фактора.

Примеры и модели ложных факторов представлены в работе [6]. В общем виде i -й ложный фактор $f_i(t)$ можно записать как функцию от времени, параметров среды и характеристик датчика:

$$f_i(t) = \beta_i \cdot g_i(X(t)),$$

где β_i – коэффициент влияния i -го фактора на сигнал датчика (зависит от типа датчика и природы фактора); $g_i(X(t))$ – функция, описывающая зависимость сигнала от параметров среды; $X(t)$ – вектор параметров среды, влияющих на i -й фактор, например:

$$X(t) = \{P(t), H(t), L(t), \dots\},$$

где $P(t)$ – концентрация пыли; $H(t)$ – влажность воздуха; $L(t)$ – интенсивность света и т.д.

Эта формула универсальна и позволяет учитывать как линейные, так и нелинейные зависимости ложных факторов от времени и параметров среды. Выбор конкретной функции g_i и параметров β_i зависит от специфики системы и условий эксплуатации.

Конкретные зависимости приведены в работе [6]. Примеры $g_i(X(t))$ для типичных ложных факторов приведены в табл. 3.

Ложные факторы срабатывания дымовых датчиков

Ложный фактор	Функция зависимости сигнала от параметров среды
Пыль	$f_{\text{пыль}}(t) = \beta_{\text{пыль}} \cdot P(t)$, где $P(t)$ – концентрация пыли в воздухе
Влажность	$f_{\text{пар}}(t) = \beta_{\text{пар}} \cdot P(t)$, где $H(t)$ – относительная влажность воздуха
Свет	$f_{\text{пыль}}(t) = \beta_{\text{пыль}} \cdot P(t)$, где $L(t)$ – интенсивность света, падающего на датчик
Электромагнитные помехи	$f_{\text{эм}}(t) = \beta_{\text{эм}} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, где ω – частота электромагнитных колебаний; φ – фаза сигнала
Запыление камеры	$f_{\text{пыль}}(t) = \beta_{\text{пыль}} \cdot \frac{T_1}{1 + \left(\frac{T}{T_1}\right)^2}$, где T – время эксплуатации датчика; T_1 – характерное время загрязнения

2.3. Влияние концентрации дыма и ложных факторов на время срабатывания датчика

Дымовой датчик измеряет сигнал $S(t)$, который зависит от концентрации аэрозоля $C(t)$ и внешних факторов. Общая модель сигнала может быть представлена формулой:

$$S(t) = \sigma \cdot C(t) + F(t),$$

где $S(t)$ – выходной сигнал датчика в момент времени t , единицы измерения зависят от типа датчика (например, Вольт); σ – коэффициент чувствительности датчика; $C(t)$ – концентрация аэрозоля в воздухе, [мг/м³]; $F(t)$ – вклад ложных факторов в измеряемый сигнал.

С учетом моделирования ложных сигналов можно записать итоговую модель сигнала датчика в следующем виде:

$$S(t) = \sigma \cdot \left[C_0 + \frac{R}{V} (1 - e^{-Vt}) \right] + \sum_{i=1}^n f_i(t).$$

Датчик срабатывает, если: $S(t) \geq S_{\text{порог}}$, где $S_{\text{порог}}$ – заданное пороговое значение сигнала.

$$S(t) \geq S_{\text{порог}} \Rightarrow t_s = \min\{t: s(t) \geq S_{\text{порог}}\},$$

где t_s – время срабатывания датчика, [сек].

2.4. Вычисление вероятности ложного срабатывания

Вероятность ложного срабатывания $P_{\text{лож}}$ определяется как:

$$P_{\text{лож}} = P(S(t) \geq S_{\text{порог}} | C(t) < C_{\text{порог}}),$$

где $C_{\text{порог}}$ – минимальная концентрация дыма для корректного срабатывания.

Используя распределение вероятностей для ложных факторов $F(t)$, запишем:

$$P_{\text{лож}} = \int_{S_{\text{порог}}}^{\infty} p(F(t)) dF,$$

где $p(F(t))$ – плотность вероятности общего вклада ложных факторов.

Предложенная математическая модель учитывает как физические процессы, происходящие при детектировании дыма, так и влияние ложных факторов. Это позволяет точно оценить время срабатывания датчика, а также вероятность ложных тревог, что важно для проектирования надежных систем пожарной безопасности.

Разработанная модель может быть использована для:

- оптимизации порогов чувствительности путем установки значения $S_{\text{порог}} = \min$, минимизирующего ложные тревоги и увеличивающего надежность обнаружения;
- предсказания времени срабатывания t_s в различных условиях;
- корректировки модели с учетом внешних воздействий, специфичных для места установки датчика.

3. Алгоритм расчета времени срабатывания датчика с учетом концентрации дыма и ложных факторов

На основе предложенной модели разработан алгоритм анализа концентрации дыма для срабатывания пожарных извещателей. Диаграмма UML алгоритма показана на рис. 1.

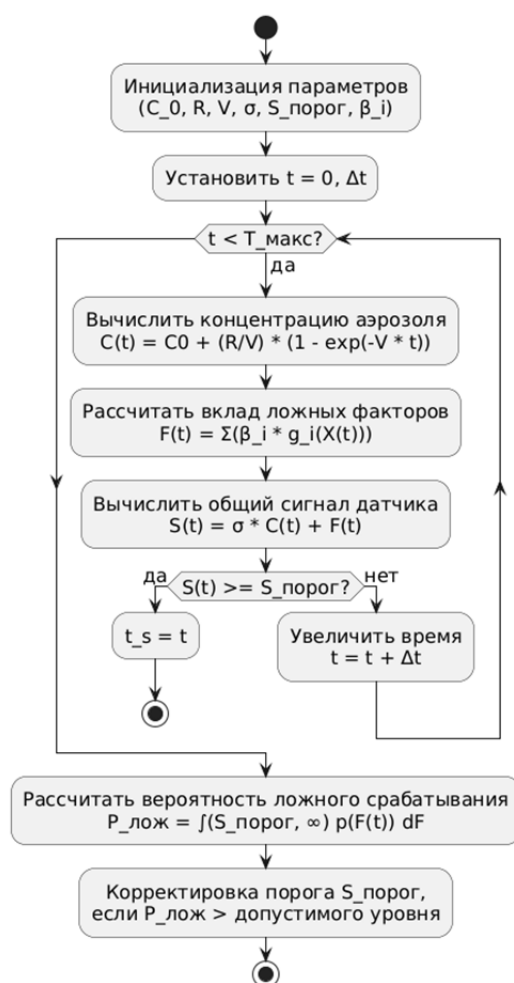


Рис. 1. Алгоритм детектирования задымления с учетом ложных факторов [14]

Алгоритм может быть реализован следующим образом:

1. Инициализация – задать начальные параметры C_0 , R , V , σ , $S_{\text{порог}}$, β_i .
2. Для каждого шага времени t вычислить в цикле:
 - концентрацию аэрозоля $C(t)$;
 - вклад ложных факторов $F(t)$;
 - общий сигнал $S(t)$;
 - проверить условие $S(t) \geq S_{\text{порог}}$.

3. Если условие выполнено, зафиксировать t_s .
4. Оценка вероятности ложного срабатывания – рассчитать $P_{\text{лож}}$ на основе распределения ложных факторов.
5. Корректировка порога срабатывания $S_{\text{порог}}$ для минимизации ложных срабатываний.

Обсуждение результатов исследования

Разработанная модель сигнала пожарного извещателя позволила количественно исследовать влияние ложных факторов на момент достижения порогового значения сигнала и, как следствие, на вероятность ложного срабатывания системы АПС. В рамках численного эксперимента оценивалась зависимость времени срабатывания t_s от чувствительности к пыли β и фоновой концентрации пыли P_0 .

На рис. 2 представлен контурный график времени срабатывания t_s в зависимости от параметров β и P_0 . Из графика следует, что при росте обоих параметров происходит существенное снижение времени срабатывания. В нижнем правом секторе графика выделена зона, ограниченная жирной линией, соответствующая значениям $t_s < 70$ с. Это зона потенциально ложного срабатывания.

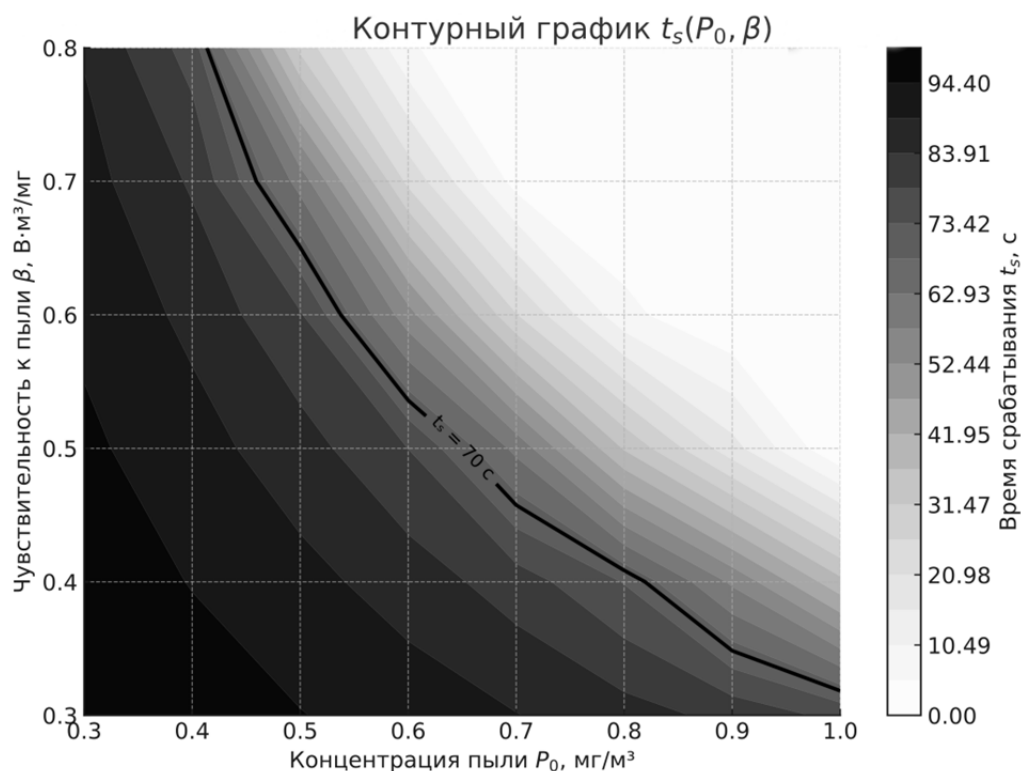


Рис. 2. Результат расчета по алгоритму детектирования задымления с учетом ложных факторов (контурный график $t_s(P_0, \beta)$ с зоной риска ложного срабатывания)

Численные значения времени срабатывания приведены в табл. 4. Из анализа табличных данных следует, что при чувствительности $\beta < 0,6$ и запылённости воздуха $P_0 \geq 0,6 \text{ мг}/\text{м}^3$, извещатель может срабатывать за время менее 70 с, что при отсутствии реального задымления соответствует ложной тревоге. При $\beta \leq 0,3$ время срабатывания остаётся в пределах 90–110 с даже при высоком уровне загрязнения, что указывает на устойчивость извещателя к фоновым помехам.

Таблица 4

Снижение времени срабатывания с ростом запылённости и чувствительности

Коэффициент запыленности β , (В·м ³ /мг)	Концентрация пыли P_0 , (мг/м ³)					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
0,3	96,2	93,5	91	88,7	85	82,1
0,4	92,4	88,6	85,3	82,2	78,1	74,6
0,5	88,7	84,4	80,5	76,9	72,2	68,1
0,6	85	80,3	76	71,6	66,5	61
0,7	81,2	76,3	71,5	66,3	60,9	55,3
0,8	77,3	72,1	67	61,7	56,1	50,6

Для более полной оценки надёжности дымового извещателя была реализована вероятностная модель, включающая влияние случайных внешних флуктуаций. Аддитивный гауссовский шум с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $\sigma_{\text{шум}}^2$ вводился непосредственно в итоговый сигнал $S(t)$, а не в концентрацию пыли. Такой подход обоснован физически: пылевое загрязнение – параметр, относительно устойчивый во времени, в то время как реальные ложные срабатывания часто инициируются кратковременными и нерегулярными внешними возмущениями (например, попадание насекомых в дымовую камеру, электростатические воздействия или сварочные работы).

Было проведено 100 запусков модели при различных значениях параметров β и P_0 . Полученные результаты представлены на рис. 2 в виде графика зависимости вероятности ложного срабатывания от уровня запылённости воздуха. При чувствительности $\beta = 0,7$ и $P_0 \geq 0,5$ мг/м³ ложные срабатывания происходят практически в каждом из 100 моделируемых запусков. Это подчёркивает необходимость ограничения чувствительности к пыли на уровне не выше $\beta=0,5$ при эксплуатации извещателей в пылесодержащей среде. Напротив, при $\beta=0,3$ ложные срабатывания отсутствуют во всех случаях, даже при максимальных значениях загрязнения воздуха.

Таким образом, результаты вероятностного моделирования подтвердили не только значимость уровня сигнала, но и то, что его стохастическая компонента играет важную роль в оценке надёжности работы пожарного извещателя. Применение аддитивной шумовой модели даёт количественную основу для статистической оценки устойчивости извещателей и их пригодности к применению в условиях фоновых помех.

Выводы

Разработана математическая модель распространения дыма в замкнутом пространстве, учитывающая диффузионные процессы и наличие источников задымления. Упрощённое аналитическое решение позволяет эффективно предсказывать динамику изменения концентрации аэрозоля во времени.

Построена модель сигнала пожарного датчика, в которую включены ложные факторы (запыление, влажность, освещённость, электромагнитные помехи) в виде параметризованных функций от условий среды и времени. Применение аддитивной структуры сигнала с весовыми коэффициентами обеспечивает количественную оценку их влияния на надёжность срабатывания системы.

Разработанная модель даёт возможность оптимизировать порог чувствительности $S_{\text{порог}}$ с целью минимизации количества ложных тревог и повышения достоверности детектирования, а также позволяет прогнозировать время срабатывания пожарного извещателя t_s в различных эксплуатационных условиях.

Предложен алгоритм детектирования задымления, учитывающий как истинную концентрацию дыма, так и воздействие ложных факторов. Это обеспечивает адаптивную настройку порога чувствительности и снижает вероятность ошибочного срабатывания автоматической пожарной сигнализации.

Список источников

1. EN 54-7:1994. Системы пожарной сигнализации. Часть 7: Дымовые пожарные извещатели; точечные извещатели по принципу контроля рассеянного и проходящего света или ионизационные. URL: <https://ru-bezh.ru/uploads/instrukcii/en54/EN%2054-7.pdf> (дата обращения: 11.12.2024).
2. ГОСТ Р 53325–2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102066> (дата обращения: 11.12.2024).
3. ГОСТ 34698–2020. Извещатели пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
4. Fire Alarm System Market, Share & Growth Analysis Report, 2033. URL: <https://www.valuemarketresearch.com/report/fire-alarm-system-market> (дата обращения: 11.12.2024).
5. Пожары и пожарная безопасность в 2023 году: информ.-аналит. сб. / В.С. Гончаренко [и др.]. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2024. 110 с.
6. Танклевский Л.Т., Бабинов И.А., Танклевский А.Л. Об оценке достоверности обнаружения возгорания // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 3 (59). С. 28–33. EDN JVMNBY.
7. Пиреева В.С., Рахматуллина Э.Ф., Пермиков А.В. Влияние концентрации дымовых частиц на обнаружение возгорания // Технические и технологические системы: материалы XV Междунар. науч. конф. «ТТС-24». Краснодар, 2024. С. 150–153.
8. Chitram S., Kumar S., Thenmalar S. Enhancing fire and smoke detection using deep learning techniques // Engineering Proceedings. 2024. Т. 62. № 1. С. 7. DOI: 10.3390/engproc2024062007.
9. Predicting Fire Alarms in Smoke Detection using Neural Networks / M.W. Attia [et al.] // International Journal of Academic Information Systems Research (IJASIR). 2023. Vol. 7. № 10. P. 26–33.
10. Review Study on Recent Developments in Fire Sensing Methods / S. Sulthana [et al.] // IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 90269–90282. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3306812.
11. Катникова Ю.С., Борисенко М.Е., Любская О.Г. Обзор датчиков пожарной сигнализации // Universum: технические науки. 2021. № 4–1 (85). С. 10–12.
12. Рашоян И.И. Анализ эффективности работы точечных дымовых пожарных извещателей // Символ науки. 2015. № 9–1. С. 111–114.
13. Капуста Н.К., Звягинцев В.В. Исследование работоспособности популярных моделей дымовых оптико-электронных пожарных извещателей // Безопасность-2021: сб. трудов Всерос. науч.-практ. конф. Чита, 2021. С. 112–116.
14. A capacitive particle-analyzing smoke detector for very early fire detection / B. Wang [et al.] // Sensors. 2024. Т. 24. № 5. С. 1692. DOI: 10.3390/s24051692.
15. Повышение эффективности работы современных точечных оптических дымовых извещателей / А.И. Кицак [и др.] // Bezpieczenstwo i Technika Pożarnicza. 2014. Т. 36. № 4. С. 125–130. DOI: 10.12845/bitp.36.4.2014.13.

References

1. EN 54-7:1994. Sistemy pozharnej signalizacii. Chast' 7: Dymovye pozharnye izveshchateli; tochechnye izveshchateli po principu kontrolya rasseyannogo i prohodyashchego sveta ili ionizacionnye. URL: <https://ru-bezh.ru/uploads/instrukcii/en54/EN%2054-7.pdf> (data obrashcheniya: 11.12.2024).
2. GOST R 53325–2012. Tekhnika pozharnaya. Tekhnicheskie sredstva pozharnoj avtomatiki. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102066> (data obrashcheniya: 11.12.2024).
3. GOST 34698–2020. Izveshchateli pozharnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
4. Fire Alarm System Market, Share & Growth Analysis Report, 2033. URL: <https://www.valuemarketresearch.com/report/fire-alarm-system-market> (data obrashcheniya: 11.12.2024).

5. Pozhary i požarnaya bezopasnost' v 2023 godu: inform.-analit. sb. / V.S. Goncharenko [i dr.]. Balashiha: VNIPO MChS Rossii, 2024. 110 s.
6. Tanklevskij L.T., Babikov I.A., Tanklevskij A.L. Ob ocenke dostovernosti obnaruzheniya vozgoraniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 3 (59). S. 28–33. EDN JVMNBY.
7. Pireeva V.S., Rahmatullina E.F., Permyakov A.V. Vliyanie koncentracii dymovyh chastic na obnaruzhenie vozgoraniya // Tekhnicheskie i tekhnologicheskie sistemy: materialy XV Mezhdunar. nauch. konf. «TTS-24». Krasnodar, 2024. S. 150–153.
8. Chitram S., Kumar S., Thenmalar S. Enhancing fire and smoke detection using deep learning techniques // Engineering Proceedings. 2024. T. 62. № 1. S. 7. DOI: 10.3390/engproc2024062007.
9. Predicting Fire Alarms in Smoke Detection using Neural Networks / M.W. Attia [et al.] // International Journal of Academic Information Systems Research (IJAIRS). 2023. Vol. 7. № 10. P. 26–33.
10. Review Study on Recent Developments in Fire Sensing Methods / S. Sulthana [et al.] // IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 90269–90282. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3306812.
11. Katnikova Yu.S., Borisenko M.E., Lyubskaya O.G. Obzor datchikov požarnoj signalizacii // Universum: tekhnicheskie nauki. 2021. № 4–1 (85). S. 10–12.
12. Rashoyan I.I. Analiz effektivnosti raboty tochechnyh dymovyh požarnyh izveshchatelej // Simvol nauki. 2015. № 9–1. S. 111–114.
13. Kapusta N.K., Zvyagincev V.V. Issledovanie rabotosposobnosti populyarnyh modelej dymovyh optiko-elektronnyh požarnyh izveshchatelej // Bezopasnost'-2021: sb. trudov Vseros. nauch.-prakt. konf. Chita, 2021. S. 112–116.
14. A capacitive particle-analyzing smoke detector for very early fire detection / B. Wang [et al.] // Sensors. 2024. T. 24. № 5. S. 1692. DOI: 10.3390/s24051692.
15. Povyshenie effektivnosti raboty sovremennyh tochechnyh opticheskikh dymovyh izveshchatelej / A.I. Kicak [i dr.] // Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza. 2014. T. 36. № 4. S. 125–130. DOI: 10.12845/bitp.36.4.2014.13.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 26.05.2025; одобрена после рецензирования: 22.07.2025;
принята к публикации: 25.07.2025

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 26.05.2025; approved after review: 22.07.2025;
accepted for publication: 25.07.2025

Информация об авторах:

Рахматуллина Элина Фанисовна, старший преподаватель кафедры математики, аспирант кафедры «Пожарная безопасность» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), e-mail: rahmatullina_elina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6980-2027>

Пермяков Арсений Владимирович, доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), кандидат технических наук, e-mail: senya2512@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9332-2414>

Хафизов Ильдар Фанилевич, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), доктор технических наук, профессор, e-mail: ildar.hafizov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6316-9725>

Хафизов Фаниль Шамилевич, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность» Уфимского государственного нефтяного технического университета (450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1), доктор технических наук, профессор, e-mail: fanil150656@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2638-9937>

Information about authors:

Rakhmatullina Elina F., senior lecturer of the department of mathematics, postgraduate student of the department of fire safety of the Ufa State Petroleum Technological University (450064, Ufa, Kosmonavtov st., 1), e-mail: rahmatullina_elina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6980-2027>

Permyakov Arseniy V., associate professor of the department of fire and industrial safety of the Ufa State Petroleum Technological University (450064, Ufa, Kosmonavtov st., 1), candidate of technical sciences, e-mail: senya2512@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9332-2414>

Khafizov Il'dar Sh., professor of the department of fire and industrial safety of the Ufa State Petroleum Technological University (450064, Ufa, Kosmonavtov st., 1), doctor of technical sciences, professor, e-mail: ildar.hafizov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6316-9725>

Khafizov Fanil Sh., professor of the department of fire and industrial safety of the Ufa State Petroleum Technological University (450064, Ufa, Kosmonavtov st., 1), doctor of technical sciences, professor, e-mail: fanil150656@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2638-9937>