

3419



Министерство образования  
Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

**Кафедра «Информационно-измерительная техника  
и технологии»**

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОЖАРНЫХ  
ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

**Учебно-методическое пособие**

**Минск 2008**

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Информационно-измерительная техника и технологии»

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ  
СИГНАЛИЗАЦИИ

Учебно-методическое пособие  
к выполнению курсовой работы по дисциплине  
«Первичные измерительные преобразователи в системах  
безопасности»

для студентов специальности 1-38 02 03  
«Техническое обеспечение безопасности»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением высших учебных  
заведений Республики Беларусь по образованию в области приборостроения*

М и н с к 2 0 0 8

654

УДК ~~628.74-52~~(075.8)

~~ББК 38.96я7~~

О-22

Авторы:

А.А. Антошин, Д.Л. Есипович, А.А. Пукач, Г.И. Олефир

Рецензенты:

И.Е. Зуйков, доктор физико-математических наук,  
заведующий кафедрой ИИТТ БНТУ;

М.Н. Альшевский, старший научный сотрудник НИИ ПБ и ПЧС  
МЧС Беларуси

**Антошин, А.А.**

О-22      Обоснование выбора пожарных извещателей при проектировании систем пожарной сигнализации: учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы по дисциплине «Первичные измерительные преобразователи в системах безопасности» для студентов специальности 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности» / А.А. Антошин [и др.]. – Минск: БНТУ, 2008. – 68 с.

ISBN 978-985-479-900-1.

В учебно-методическом пособии приведены указания к курсовому проектированию по дисциплине «Первичные измерительные преобразователи в системах безопасности», содержащие тематику курсовых работ, требования к содержанию курсовой работы и критерии готовности ее к защите.

Особое внимание уделено методике определения целей, задач и критериев достижения целей систем пожарной сигнализации. Системно изложен метод размещения тепловых пожарных извещателей на объектах на основе расчета сценария предполагаемого пожара, моделирования пожарного извещателя и учета объемно-планировочных решений.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений специальности 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности», а также для работников организаций, занимающихся проектированием систем пожарной сигнализации и их производством.

УДК 628.74-52(075.8)

ББК 38.96я7

ISBN 978-985-479-900-1

© БНТУ, 2008

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Первичные измерительные преобразователи в системах безопасности» является частью специальной подготовки инженера-электромеханика по специальности 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности» со специализацией 1-38 02 03 01 «Приборы и системы охранной сигнализации и безопасности». В ней изучаются методы измерения неэлектрических величин, которые являются информативными параметрами объектов обнаружения для систем охранной и пожарной сигнализации, а также основы расчета преобразователей этих величин в электрические. Студент должен овладеть методами расчета и оценки технических и метрологических характеристик основных типов извещателей в системах безопасности и приобрести опыт анализа характеристик первичных преобразователей и извещателей.

Курсовая работа по этой дисциплине ориентирована на приобретение навыков анализа структурной (функциональной) схемы извещателя для систем охранной и пожарной сигнализации или проведение анализа эффективности применения извещателей в пожарной автоматике.

Целью учебно-методического пособия является систематизированное изложение методики определения целей и задач систем пожарной сигнализации (СПС), а также методики применения результатов расчета сценария предполагаемого пожара и моделирования работы извещателя для обоснованного выбора и размещения пожарных извещателей (ПИ) в помещениях. Излагаемый подход позволяет принимать во внимание при проектировании СПС особенности развития пожара, а также требования заинтересованных в создании данной СПС сторон.

Изложенные в учебно-методическом пособии методы проектирования СПС рекомендуется [1] использовать в следующих случаях:

1. Условия эксплуатации СПС отличаются от условий теста, в результате которого определены требования к размещению ПИ в нормативных документах.

2. Проектируется СПС, которая должна обеспечить более раннее обнаружение пожара.

3. Требуется обнаружить пожар меньшего размера, чем используемый в тестах.

4. Требуется установка извещателей в комнате, размеры которой отличаются от размеров огневой камеры, используемой в тестах.

5. На объекте в отличие от тестов другие условия, а именно: температура окружающей среды, скорость движения воздуха, высота потолка, или имеются преграды для распространения нагретого воздуха, которые не учитываются в тестах.

6. Пожар отличается от установившегося пожара с тепловыделением 1137 кВт.

# 1 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

## 1.1 Цели и задачи курсовой работы

Учебным планом специальности 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности» в седьмом семестре предусмотрена курсовая работа по дисциплине «Первичные измерительные преобразователи в системах безопасности», которая относится к курсовым работам исследовательского характера с элементами проектирования.

Целью курсовой работы является приобретение практических навыков анализа эффективности применения пожарных извещателей или приобретение опыта анализа характеристик извещателей в системах безопасности. Цель курсовой работы может быть достигнута в результате решения одной из двух задач.

*Первая задача.* Анализ структурной (функциональной) схемы извещателя для систем охранной или пожарной сигнализации. В этом случае задание предусматривает:

- описание информативных параметров объекта обнаружения;
- оценку факторов, влияющих на точность их измерения извещателем;
- анализ использованных в извещателе методов измерения;
- анализ структурной схемы измерительного узла;
- оценку методической погрешности;
- анализ способов уменьшения погрешности измерения информативного параметра объекта обнаружения.

*Вторая задача.* Обоснование выбора или анализ эффективности применения пожарных извещателей в системах пожарной сигнализации.

При решении второй задачи задание на курсовое проектирование предусматривает:

- определение задач, решаемых пожарной сигнализацией;
- определение количественных критериев успешного решения стоящих перед сигнализацией задач;
- расчет возможных сценариев пожара;
- расчет основных характеристик пожарных извещателей, пригодных для решения поставленных задач;

- определение требований к размещению извещателей;
- выбор необходимых для решения поставленных задач извещателей.

Графическая часть включает в себя один плакат формата А1 с необходимыми иллюстративными материалами к защите курсовой работы.

## **1.2 Тематика курсовых работ**

Темы курсовых работ преимущественно должны иметь названия «Анализ структурной (функциональной) схемы извещателя (указывается наименование и тип извещателя)» или «Анализа эффективности (указывается наименование и тип пожарных извещателей) в системе (указывается наименование системы пожарной сигнализации) при защите (указывается наименование объекта)».

## **1.3 Основные требования к содержанию курсовой работы**

Пояснительная записка курсовой работы, направленной на решение первой задачи, должна включать следующие структурные элементы:

- 1) обложку;
- 2) титульный лист;
- 3) задание по курсовой работе;
- 4) реферат;
- 5) содержание;
- 6) перечень условных обозначений, символов и терминов (при необходимости);
- 7) введение;
- 8) информативные параметры объекта обнаружения;
- 9) факторы, влияющие на точность измерения информативных параметров извещателем (в названии пункта указываются наименования явлений и процессов);
- 10) анализ использованных в извещателе методов измерения (в названии пункта указываются наименования методов измерения);
- 11) анализ структурной схемы измерительного узла (в названии пункта указывается наименование измерительного узла);

12) оценку методической погрешности (приводится расчет методической погрешности);

13) анализ путей уменьшения погрешности измерения информативного параметра объекта обнаружения (в названии пункта указываются наименования информативных параметров);

14) заключение;

15) список использованных источников.

Пояснительная записка курсовой работы, направленной на решение второй задачи, должна включать следующие структурные элементы:

1) обложку;

2) титульный лист;

3) задание по курсовой работе;

4) реферат;

5) содержание;

6) перечень условных обозначений, символов и терминов (при необходимости);

7) введение;

8) цели и задачи системы;

9) критерии достижения цели;

10) характеристику объекта;

11) сценарий пожара;

12) расчет размещения извещателей;

13) обоснование выбора средств обнаружения пожара;

14) заключение;

15) список использованных источников.

#### **1.4 Критерии готовности работы к защите**

Курсовая работа считается готовой к защите, если в соответствии с настоящими Указаниями оформлены и подписаны руководителем пояснительная записка и графическая часть.

#### **1.5 Рекомендации по выполнению курсовой работы**

Текущий контроль выполнения приведенного ниже графика работ над курсовой работой осуществляется в процессе трех проверок.

## График работы

Номер этапа	Наименование работ	Сроки исполнения
1	Составление задания по курсовой работе	1-я неделя семестра
2	Разработка технического задания по курсовой работе	Сентябрь
3	Разработка эскизного проекта	Октябрь
4	Разработка технического проекта	Ноябрь
5	Оформление пояснительной записки и графической части курсовой работы. Защита	Декабрь

В случае неудовлетворительного результата проверки на любом этапе работы студента кафедра принимает решение о возможности продолжения работы или ходатайствует об отчислении студента из университета как не выполнившего график работы.

### Вид проверки и представляемые материалы

Номер проверки	Вид проверки и представляемые материалы	Кто осуществляет проверку	Сроки проведения проверки
1	Этапы «Техническое задание» и «Техническое предложение» Представляемые материалы: <ul style="list-style-type: none"> <li>• техническое задание;</li> <li>• расчеты в соответствии с заданием</li> </ul>	Руководитель	Первая декада октября

Номер проверки	Вид проверки и представляемые материалы	Кто осуществляет проверку	Сроки проведения проверки
2	Этап «Эскизный проект» Представляемые материалы: <ul style="list-style-type: none"> <li>• оформленная пояснительная записка</li> </ul>	Руководитель	Вторая декада ноября
3	Этап «Технический проект» Представляемые материалы: <ul style="list-style-type: none"> <li>• пояснительная записка, оформленная в соответствии с СТП БНТУ 3.01-2003 и МИ БНТУ 3.001-2003;</li> <li>• графическая часть</li> </ul>	Руководитель	Первая декада декабря

### 1.6 Требования к оформлению

Оформление пояснительной записки курсовой работы производится в соответствии с СТП БНТУ 3.01-2003 «Курсовое проектирование» и МИ БНТУ 3.001-2003 «ЕСС БНТУ. Дипломное проектирование», раздел 8 [1, 2].

## **2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

### **2.1 Разновидности проектных работ инженера-проектировщика систем пожарной сигнализации**

Инженер-проектировщик систем пожарной сигнализации в своей работе сталкивается:

- с проектированием новой системы пожарной сигнализации в проектируемом здании;
- анализом эффективности действующей системы пожарной сигнализации;
- проектированием новой системы пожарной сигнализации в эксплуатируемом здании.

Принципиально разный подход к проектированию имеет место, если система пожарной сигнализации создается для уже построенного, находящегося в эксплуатации объекта или для здания, которое только проектируется. На стадии проектирования можно учесть потребности систем пожарной сигнализации.

### **2.2 Цели пожарной сигнализации**

*Пожарная безопасность* – это состояние объекта, при котором с регламентируемой вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара, а также обеспечивается защита людей и материальных ценностей от воздействия его опасных факторов.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 [1] пожарная безопасность объекта обеспечивается организационно-техническими мероприятиями и техническими средствами предотвращения пожара и противопожарной защиты. К техническим средствам обеспечения пожарной безопасности объектов относятся системы пожарной сигнализации. Системы *пожарной безопасности* должны иметь одну из следующих целей:

- исключить возникновение пожара;
- обеспечить пожарную безопасность людей;
- обеспечить пожарную безопасность материальных ценностей;
- обеспечить пожарную безопасность людей и материальных ценностей одновременно.

Перед системами пожарной сигнализации, как одной из составных частей систем пожарной безопасности, могут стоять четыре цели или их сочетания. К таким целям относят:

- а) обеспечить пожарную безопасность людей;
- б) защитить материальные ценности (имущество);
- в) обеспечить непрерывность производственного процесса;
- г) ограничить воздействие пожара на окружающую среду.

**Обеспечение пожарной безопасности людей (материальных ценностей)** достигается предотвращением воздействия на них опасных факторов пожара, в том числе их вторичных проявлений на **требуемом уровне**. *Уровень обеспечения пожарной безопасности (людей и материальных ценностей)* – это количественная оценка предотвращенного ущерба при возможном пожаре [4]. Говоря о людях необходимо иметь в виду любого человека, находящегося на объекте (жителей, служащих, пожарных и т.д.).

Цель пожарной сигнализации определяется на основе сформулированной цели всех заинтересованных лиц и организаций в результате их согласованного решения. К заинтересованным сторонам можно отнести владельцев объекта, официальных лиц, осуществляющих пожарный надзор, эксплуатирующие объект организации, страхователей, архитектора, строительные организации, природоохранные организации и др. *Цели заинтересованных сторон* должны носить конкретный и даже количественный характер с ориентацией на конкретный объект.

### 2.3 Цели заинтересованных сторон

Рассмотрим четыре случая, соответствующие четырем основным целям систем пожарной сигнализации. Эти случаи представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Цели пожарной сигнализации и критерии ее достижения

Цели, задачи, критерии	Формулировка цели и критерии ее достижения		
Цель системы пожарной сигнализации	Обеспечить пожарную безопасность людей	Защитить материальные ценности	Обеспечить непрерывность производственного процесса

Цели, задачи, критерии	Формулировка цели и критерии ее достижения		
Цель заинтересованных сторон	Исключить потери жизни людей на местах возникновения пожара	Не допустить повреждения имущества за пределами очага пожара	Предотвратить любое прерывание производственного процесса свыше N часов
Задачи системы пожарной сигнализации	Не допустить превышения предельных значений опасных факторов на местах возникновения пожара	Ограничить распространение пожара (пламени) местом возникновения пожара	Ограничить температуру и концентрацию HCl на приемлемом уровне для продолжения работы оборудования
Критерии достижения цели	<ul style="list-style-type: none"> <li>- температура ниже xx °C;</li> <li>- видимость выше yy м;</li> <li>- концентрация CO ниже zz ppm в течение t мин</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- температура ниже xx °C;</li> <li>- облучение пола ниже yy кВт/м<sup>2</sup> (для предотвращения образования искр)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- температура ниже xx °C;</li> <li>- концентрация HCl ниже yy ppm</li> </ul>

#### 2.4 Задачи пожарной сигнализации и критерии достижения целей

*Задачи пожарной сигнализации* должны определять опасные факторы, воздействующие на людей, материальные ценности и оборудование, значение которых эта система должна контролировать. Факторы пожара характеризуются значениями соответствующих физических величин.

К опасным факторам, воздействующим на людей и материальные ценности, ГОСТ 12.1.004-91 [4] относит следующие:

- пламя и искры;
- повышенную температуру окружающей среды;
- токсичные продукты горения и термического разложения;
- дым;
- пониженную концентрацию кислорода.

Ко вторичным проявлениям опасных факторов пожара, воздействующим на людей и материальные ценности, относятся:

- осколки, части разрушившихся аппаратов, агрегатов, установок, конструкций;

- радиоактивные и токсичные вещества и материалы, вышедшие из разрушенных аппаратов и установок;

- электрический ток, возникший в результате выноса высокого напряжения на токопроводящие части конструкций, аппаратов, агрегатов;

- опасные факторы взрыва по ГОСТ 12.1.010, происшедшего вследствие пожара;

- огнетушащие вещества.

**Критерии достижения цели** – это критические или пороговые значения физических величин, которые могут быть достигнуты (но не превышены) на объекте благодаря функционированию эффективной системы пожарной сигнализации. Критерии должны быть достигнуты благодаря обнаружению пожара системой пожарной сигнализации на такой ранней стадии развития, чтобы позволить выполнить необходимые действия другим компонентам пожарной автоматики или пожарной безопасности в целом. Это может быть включение установок автоматического пожаротушения, систем оповещения людей о пожаре и противодымной защиты, открытие эвакуационных выходов для эвакуации людей, передача сообщения в диспетчерскую службу МЧС и принятие ими мер по тушению пожара и т.д. Критерии достижения цели могут выражаться различными величинами: температурой, задымленностью, потоком инфракрасного излучения, тепловыделением, концентрацией токсичных веществ и др.

Количественные значения критериев достижения цели определяют возможный ущерб при пожаре даже в случае успешной работы пожарной сигнализации.

### 3 РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЯ ПОЖАРА

Сценарий пожара описывает развитие очага пожара и распределение продуктов горения по объекту. В нем рассматриваются факторы пожара, которые, как предполагается, могут угрожать объекту (зданию, людям, имуществу), и поэтому должны приниматься во внимание при проектировании пожарной сигнализации. Процедура разработки сценария пожара содержит анализ источников опасности возникновения пожара и риска возникновения пожара. *Анализ источников пожарной опасности* заключается в определении потенциальных источников загорания, возможной горючей среды и динамики развития пожара. *Риск* – это вероятность события (пожара), умноженная на вероятность последствий этого события. Сценарий пожара должен содержать:

- характеристику объекта;
- характеристику людей на объекте;
- характеристику возможного пожара.

#### 3.1 Описание (характеристика) объекта защиты

В соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 объект защиты – это объект, требующий применения средств и способов для предотвращения возникновения, развития и ликвидации пожара. Примеры объектов защиты: среда, орудия труда, предметы труда, здания и сооружения, населенные пункты, а также человек.

Характеристика объекта должна содержать следующую информацию:

- а) описание конфигурации объекта;
- б) характеристику окружающей среды;
- в) информацию о наличии оборудования и его описание;
- г) функциональную характеристику объекта;
- д) целевое предназначение объекта;
- е) описание потенциальных источников загорания;
- ж) эстетическую или историческую ценность объекта.

При описании **конфигурации объекта** необходимо дать информацию об его площади и свойствах потолка. Потолок характеризуется высотой, конфигурацией, наличием открытых и закрытых проемов, термодинамическими свойствами.

**Окружающая среда** характеризуется температурой, влажностью, фоновым шумом и т.д.

К **оборудованию** относятся: производственное оборудование, системы вентиляции, кондиционирования и теплоснабжения, электротехнические установки и т.д.

**Функциональная характеристика объекта** включает информацию о том, кем он занят, в течение какого времени, в какие дни и т.д.

### **3.2 Характеристика людей на объекте**

Характеристика людей на объекте включает следующую информацию:

- а) состояние людей, характеризующее их способность воспринимать сигналы тревоги (больные, дети, лица с физическими и психологическими недостатками, люди в состоянии сна, бодрствования и т.д.);
- б) возраст;
- в) способность к передвижению;
- г) количество обитателей и их расположение в пределах здания;
- д) пол (муж. или жен.);
- е) способность реагировать на сигнал тревоги;
- ж) знакомство со зданием;
- з) умственные способности.

Эта информация особенно значима, когда целью пожарной автоматики является обеспечение пожарной безопасности людей. Не вызывает сомнений и то, что поведение человека играет ключевую роль не только в защите жизни, но и для достижения других целей противопожарной защиты.

### **3.3 Характеристика пожара**

Пожар согласно СТБ 11.0.02-95 [1] – это неконтролируемое горение вне специального очага, приводящее к ущербу. Ущерб от пожара – это материальные, социальные, экологические и культурные потери, а также жертвы, являющиеся следствием пожара.

Характеристика пожара включает в себя информацию о следующем:

- а) об источниках зажигания;
- б) о горючей среде (начальной и вторичной);

в) о тепловыделении скорости развития пожара и образования продуктов горения.

**Источник зажигания** – средство энергетического воздействия, инициирующее возникновение горения данной горючей среды.

**Горючая среда** – совокупность веществ, материалов, оборудования и конструкций, способных гореть. Под начальной горючей средой будем понимать горючую среду, расположенную в очаге пожара. За пределами очага пожара горючую среду называют вторичной.

**Очаг пожара** – место первоначального возникновения пожара.

Характеризуя *источник зажигания*, необходимо указывать его температуру и энергию, а также время и площадь контакта источника зажигания с потенциальной горючей средой.

Характеризуя *горючую среду*, необходимо указывать ее агрегатное состояние, вид и количество материалов ее образующих, конфигурацию и расположение горючей среды на объекте.

При описании *конфигурации* горючей среды необходимо принимать во внимание, что горение деревянных брусков, например, зависит от того, в помещении какого размера они находятся, насколько велика площадь их поверхности, каково вентилирование и инфракрасное излучение в обратном направлении между горючими материалами.

При анализе *расположения горючей среды* необходимо обращать внимание на то, где она находится в помещении (рядом со стеной, в углу помещения, на открытом пространстве) и на каком расстоянии имеется поверхность над ней.

*Тепловыделение пожара* зависит от теплоты сгорания горючей среды, скорости потери массы, теплоотдачи процесса горения и величины падающего на нее теплового потока. В свою очередь, скорость потери массы связана со скоростью дымообразования, образования токсичных газов и других продуктов горения.

Значение *скорости образования продуктов горения* можно оценить с помощью выхода этого продукта. Выход продукта горения представляет собой значение массы образовавшегося продукта на единицу потерь массы горючей среды.

При описании вторичной горючей среды необходимо указывать близость ее к исходной горючей среде, а также ее количество, распределение по объекту, горючесть, возможность потухания.

### **3.4 Примерный сценарий пожара в компьютерном классе**

Компьютерный класс размером 9,1 х 6 м и высотой потолка 2,8 м эксплуатируется 12 часов в день, 5 дней в неделю. Посетители компьютерного класса и обслуживающий персонал подвижны и хорошо знакомы со зданием. Система автоматического пожаротушения отсутствует. Пожарная часть способна прибыть на место пожара за 6 минут, и еще 15 минут требуется для изучения обстановки.

К пожару может привести перегрев проводников на печатных платах и соединительных кабелей. Такой пожар быстро распространяется вверх, где под потолком расположены силовые и коммуникационные кабели. Горение таких кабелей создает большое количество плотного едкого дыма и агрессивных продуктов горения, которые проникают в компьютерные блоки и другие устройства. Все это приводит к выходу из строя компьютеров и телекоммуникационного оборудования на 2 месяца.

## 4 РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Развитие пожара зависит от характера горения топлива, его агрегатного состояния, возможности поступления воздуха в очаг (продувание) и свойств камеры горения. В большинстве случаев через некоторое время развития пожара пламя достигает максимальных размеров, а пожар в таком состоянии характеризуется максимальным тепловыделением.

Последующий спад тепловыделения возможен при ограничении поступления топлива, воздуха либо в результате действия средств тушения пожара. Таким образом, рост пожара и его распространение ограничиваются следующими факторами:

- количеством топлива;
- размещением топлива;
- количеством кислорода;
- действием ручных и автоматических средств тушения пожара.

На начальной стадии пожара возможен период тления. Однако для расчета пожара с учетом тления в настоящее время имеется очень мало доступных и достоверных данных. Поэтому при выполнении инженерного расчета необходимо осторожно подходить к процессам, протекающим в этот период. За периодом тления наступает стадия пламенного горения, которая характеризуется скоростью роста пламенного пожара. Скорость роста пламенного пожара определяется с учетом следующих факторов:

- 1) тип топлива и легкость его загорания;
- 2) форма топлива и его расположение;
- 3) положение вторичного топлива;
- 4) близость пламени к стенам и углам;
- 5) высота потолка;
- 6) вентиляция.

Важно заметить, что при расчете пожара необходимо учитывать насколько отличается помещение, в котором происходит горение, от условий получения констант, используемых в расчетах. Например, кушетка при горении в малом помещении может выделить такое количество тепла, которое может вызвать образование искр, а такая же кушетка, расположенная в большом помещении с высокими потолками, вызывает ограниченный пожар без образования искр.

## 4.1 Тепловыделение пожара

Пожар может характеризоваться величиной тепловыделения  $Q$ , измеряемой в киловатах. Типичные значения максимального тепловыделения  $Q_m$  для ряда различных видов топлив и конфигураций пожаров приведены в [1]. Максимальное тепловыделение пожара определяется как произведение плотности тепловыделения и площади пожара:

$$Q_m = qA, \quad (1)$$

где  $Q_m$  – максимальное (пиковое) тепловыделение, кВт;

$q$  – плотность тепловыделения, кВт/м<sup>2</sup>;

$A$  – площадь основания топлива, м<sup>2</sup>.

*Пример.*

Рассмотрим характеристики пожара при горении штабеля деревянных брусков размером 3,05 × 3,05 м и высотой 1,5 м. Определим, какое максимальное тепловыделение может быть достигнуто в таких условиях?

Из [1] известно, что плотность тепловыделения  $q$  для штабеля деревянных брусков высотой 1,5 м равна приблизительно 3745 кВт/м<sup>2</sup>.

Площадь 3,05 × 3,05 м соответствует 9,29 м<sup>2</sup>. Используя уравнение (1) получаем следующее значение максимального тепловыделения:

$$3745 \cdot 9,29 = 34791 \text{ кВт.}$$

Как следует из материалов, приведенных в [1], такой пожар достигнет тепловыделения 1055 кВт приблизительно за 90...190 секунд, что соответствует пожарам со средней скоростью развития или быстроразвивающимся пожарам.

## 4.2 Скорость развития пожара

Большинство пожаров развивается по степенному закону и зависимость тепловыделения пожара от времени может быть описана выражением

$$Q \propto t^p, \quad (2)$$

где  $Q$  – тепловыделение пожара, кВт;

$p$  – показатель степени (обычно равен 2);

$t$  – время, с.

Пожар, развивающийся по такому закону, может быть охарактеризован скоростью его развития или временем  $t_g$ , которое необходимо для того, чтобы пожар достиг заданной скорости тепловыделения.

При прочих равных условиях время  $t_g$  является характеристикой горючей среды. Это такой интервал времени после момента зажигания, в течение которого данная горючая среда, горя стабильным пламенем, должна достигнуть тепловыделения, равного 1055 кВт. С учетом сказанного выражение (2) можно представить в следующем виде:

$$Q = \frac{1055}{t_g^2} t^2 \quad (3)$$

или

$$Q = \alpha t^2, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – скорость развития (роста) пожара ( $\frac{1055}{t_g^2}$ , кВт/с<sup>2</sup>);

$Q$  – тепловыделение пожара, кВт;

$t_g$  – время развития пожара до мощности 1055 кВт, после того как процесс горения установится;

$t$  – время, отсчитываемое после установления процесса горения, с.

Другой характеристикой топлива является виртуальное время  $t_v$ . Это время, в течение которого устанавливается стабильное пламя и пожар начинает удовлетворять степенному закону роста тепловыделения. До момента времени  $t_v$  топливо может тлеть, но не горит открытым пламенем. С учетом сказанного выражение (4) можно записать в следующем виде:

$$Q = \alpha (t - t_v)^2 \quad (5)$$

или

$$Q = \frac{1055}{t_g^2} (t - t_v)^2, \quad (6)$$

где  $\alpha$  – скорость роста пожара ( $\frac{1055}{t_g^2}$ , кВт/с<sup>2</sup>);

$Q$  – тепловыделение пожара, кВт;

$t_g$  – время развития пожара до достижения им тепловыделения 1055 кВт;

$t$  – время, с.

$t_v$  – виртуальное время, с.

Пожары можно классифицировать по скорости развития от момента стабилизации процесса горения до достижения значения тепловыделения 1055 кВт. В таблице 2 приводится такая классификация.

Таблица 2 – Классификация пожаров по тепловыделению

Характеристика пожара	Время роста $t_g$ , с	$\alpha$ , кВт/с <sup>2</sup>
Медленный	$t_g \geq 400$ с	$\alpha \leq 0,0066$
Средний	$150 \leq t_g < 400$ с	$0,0066 < \alpha \leq 0,0469$
Быстрый	$t_g < 150$ с	$\alpha > 0,0469$

### 4.3 Высота пламени

При расчете пожара важно знать высоту образующегося при пожаре пламени, которая в значительной степени определяется тепловыделением:

$$h_f = 0,182(kQ)^{2/5}, \quad (7)$$

где  $h_f$  – высота пламени, м;

$k$  – коэффициент влияния стен;

$Q$  – тепловыделение пожара, кВт.

Если вблизи очага пожара нет стен,  $k = 1$ .

Если скопление горючей среды находится вблизи стены,  $k = 2$ .

Если скопление горючей среды находится в углу,  $k = 4$ .

При пожаре, когда его тепловыделение составляет 1055 кВт и топливо расположено по середине помещения, высота пламени из уравнения (7) составит 2,8 м.

## 5 КРИТИЧЕСКИЙ РАЗМЕР ПОЖАРА

Цель и задачи системы пожарной сигнализации определяют **критический размер пожара**, т.е. критическое тепловыделение пожара  $Q_{DO}$  или критическую скорость образования продуктов горения (например, дыма), при которых опасные факторы пожара достигают предельно допустимых значений и наступают последствия, которые нельзя допустить в соответствии с поставленной задачей. Величина  $Q_{DO}$  не дает значение тепловыделения, при котором должен быть обнаружен пожар. Обнаружение пожара должно произойти существенно раньше, т.е. при меньшем тепловыделении, чтобы дать время на приведение в рабочее состояние других систем противопожарной защиты, например, обеспечить необходимое время для работы систем тушения пожара и т.д. Кроме того, всегда имеет место задержка в формировании сигнала «пожар» из-за задержки отклика оборудования или времени реакции персонала. Тепловыделение пожара, при котором должно произойти обнаружение пожара, – это **критический размер пожара для обнаружения**  $Q_{CR}$ . Время, за которое пожар достигает значений тепловыделений  $Q_{CR}$  и  $Q_{DO}$ , обозначают  $t_{CR}$  и  $t_{DO}$  соответственно. **Критическая продолжительность пожара**  $t_{DO}$  – время, в течение которого достигается предельно допустимое значение опасного фактора пожара.

Рассчитывая пожар, необходимо определить оба значения тепловыделения  $Q_{DO}$  и  $Q_{CR}$ .

### 5.1 Факторы, определяющие интервал времени между обнаружением пожара и началом его тушения

В интервал времени между обнаружением пожара и началом его тушения должна укладываться задержка, свойственная как системе обнаружения, так и реакции оборудования или людей, которые должны реагировать на обнаружение пожара.

Задержка, связанная с системой обнаружения, включает:

- запаздывание из-за времени переноса продуктов горения от очага до извещателя;
- задержку отклика извещателя;
- время обработки сигнала извещателем;
- время обработки сигнала контрольной панелью;
- время на оценку тревоги.

Задержка возможна также и в связи с системами автоматического пожаротушения, дымоудаления и другим оборудованием противопожарной защиты. В это же время приводятся в действие исполнительные устройства оповещения и эвакуации жителей, осуществляется эвакуация. До момента достижения пожаром тепловыделения  $Q_{DO}$  необходимо осуществить тушение пожара, чтобы не допустить превышения этого значения.

Время, необходимое для выполнения каждого шага после обнаружения пожара, должно быть определено и документировано. При проектировании системы сигнализации сумма интервалов времени для каждого шага в цепочке реагирования должна вычитаться из времени, в момент которого пожар достигает критического для достижения цели значения  $t_{DO}$ .

Выбранные сценарий и расчет пожара должны включать анализ лучшего и худшего случая и вероятности реализации каждого из сценариев. Важно рассмотреть различные условия и ситуации и их влияние на работу системы пожарной сигнализации.

## 5.2 Факторы, определяющие время эвакуации людей

Люди не всегда быстро реагируют на пожарную тревогу. При обеспечении защиты людей необходимо принимать во внимание следующие факторы:

- 1) время, необходимое чтобы услышать сигнал тревоги (из-за сна или шума оборудования);
- 2) время для расшифровки сообщения (например, при речевой системе оповещения);
- 3) время, чтобы принять решение об эвакуации (одевание, собирание имущества, вызов службы безопасности);
- 4) время на движение к выходу.

### **5.3 Действия, предпринимаемые пожарными по ликвидации пожара**

Реакция подразделений МЧС на пожар заключается в нескольких различных действиях, которые необходимо предпринять последовательно, прежде чем начнется тушение пожара. Такие действия должны приниматься во внимание, чтобы спроектировать систему пожарной сигнализации, нацеленную на достижение поставленных целей. Обычно они заключаются в следующем:

1) обнаружение (задержка обнаружения, задержка контрольной панели, и т.д.);

2) уведомление центра мониторинга;

3) уведомление дежурного подразделения МЧС;

4) время обработки сигнала тревоги в подразделении МЧС;

5) время сбора на пожар в подразделении МЧС;

6) время движения на пожар;

7) получение доступа на объект;

8) время разворачивания на объекте;

9) проникновение в здание;

10) проникновение на горящий этаж;

11) проникновение на прилегающие площади, связанные с пожаром;

12) применение огнетушащего состава на пожаре.

## 6 СОСТАВЛЕНИЕ ИТОГОВОГО ДОКУМЕНТА

Итоговый документ должен содержать:

1. Информацию об участниках процесса проектирования – их квалификация, функции, ответственность, заинтересованность и вклад.
2. Информацию об объекте – опасность, риск, тип конструкции, материалы, использование здания, расположение, имеющиеся системы, характеристика обитателей и т.д.
3. Цели и задачи.
4. Сценарий пожара и расчет пожара – описание используемого сценария пожара, обоснование выбора или отклонения сценария, используемые приближения и ограничения.
5. Определение требований к пожарным извещателям и их размещению на объекте.
6. Выбор извещателей из представленных на рынке и разрешенных к использованию.

## 7 ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПС С ТЕПЛОВЫМИ ПОЖАРНЫМИ ИЗВЕЩАТЕЛЯМИ (ПИ)

Раздел 7 дает метод для определения расположения пороговых и дифференциальных тепловых ПИ. Этот метод может быть использован только при расположении извещателей на большом плоском потолке. Для пороговых тепловых извещателей принимаются во внимание окружающая температура и номинальное значение температуры срабатывания извещателя. Метод учитывает основные факторы, влияющие на отклик извещателя, и не учитывает некоторые несущественные явления, к которым относят:

- лобовое сопротивление потолка;
- тепловые потери у потолка;
- воздействие излучения пламени на извещатель;
- воздействие излучения извещателя на окружающее пространство.

Рассматриваемая методика не учитывает также влияние на отклик извещателей конструктивных особенностей потолка, таких как выступающие брусья и балки. Это влияние можно учесть путем введения поправок из СНиП в результаты вычислений, проведенных по данной методике.

### 7.1 Необходимые исходные данные

Данные, необходимые для проектирования:

- 1) высота потолка или расстояние между пламенем и потолком  $H$ ;
- 2) пороговый размер пожара, при котором должно происходить обнаружение,  $Q_d$  или время срабатывания извещателя  $t_d$ ;
- 3) коэффициент отклика для извещателя  $RTI$  (только для тепловых извещателей) или требование к его размещению;
- 4) окружающая температура  $T_a$ ;
- 5) температура срабатывания извещателя  $T_S$  (только для теплового извещателя);
- 6) скорость изменения температуры для теплового извещателя, контролирующего скорость роста температуры,  $T_S / \text{min}$ ;

7) скорость роста пожара для конкретной горючей среды  $\alpha$  или время роста пожара  $t_g$ .

Данные, необходимые для проведения анализа существующей системы:

1) высота потолка или расстояние между пламенем и потолком  $H$  ;  
2) коэффициент отклика  $RTI$  для извещателя (только для тепловых извещателей) или требование к его размещению;

3) фактическое расположение установленных извещателей  $S$  ;

4) окружающая температура  $T_a$  ;

5) температура срабатывания извещателя  $T_S$  (только для теплового извещателя);

6) скорость изменения температуры для теплового извещателя, контролирующего скорость роста температуры,  $T_S / \text{min}$  ;

7) скорость роста пожара для конкретной горючей среды  $\alpha$  или время роста пожара  $t_g$ .

## 7.2 Окружающая температура

Максимальное и минимальное значения температуры воздуха, ожидаемые у потолка, напрямую влияют на выбор температуры срабатывания порогового теплового извещателя. Например, когда температура у потолка мала, необходимо перенести больше тепла от пожара к воздуху, окружающему извещатель, чтобы температура его чувствительного элемента достигла температуры срабатывания. Это приводит при прочих равных условиях к запаздыванию отклика. В свою очередь, запаздывание отклика извещателя дает дополнительное время для роста пожара. Следовательно, более низкая температура окружающей среды приведет к большему размеру пожара на момент его обнаружения. Поэтому выбор значения минимальной температуры окружающей среды существенно влияет на результаты расчетов.

Инженер должен решить, какое значение окружающей температуры будет использоваться в расчетах. Сделанный выбор должен обеспечить эффективную работу системы в самых неблагоприятных условиях. В конкретных случаях это может быть средний минимум

окружающей температуры. В любом случае должен быть выполнен анализ эффективности проектируемой системы пожарной сигнализации к изменению значения окружающей температуры.

В комнате или на производственных площадях, имеющих центральное отопление, минимальная температура воздуха обычно находится вблизи 20 °С. С другой стороны, складские помещения могут обогреваться только для того, чтобы предотвратить замерзание водопровода, и в этом случае минимальная окружающая температура может приниматься равной 2 °С, несмотря на то, что на протяжении многих месяцев в году действительная температура в помещении могла быть намного выше.

### **7.3 Влияние высоты потолка**

В случаях, когда высота потолка превышает 4,9 м, этот фактор становится существенным для отклика системы обнаружения пожара. Это связано с тем, что извещатель срабатывает быстрее, если он находится ближе к пожару.

В момент начала пламенного горения образуется факел. Факел состоит из нагретых газов и дыма, поднимающихся из очага пожара. Факел имеет форму перевернутого конуса. Концентрация дыма и температура в пределах факела изменяются обратно пропорционально расстоянию до очага пожара. Эта зависимость значительна на ранних стадиях пожара, так как угол конуса в этом случае широкий. Как только пожар усиливается, угол конуса сужается и значимость эффекта высоты потолка уменьшается. Таким образом, при увеличении высоты потолка для срабатывания того же извещателя и за то же время после возникновения пожара необходим пожар большего размера. Представленная методика может применяться для объектов с высотой потолков до 9,1 м.

В расчетных формулах в качестве одного из основных параметров используется разность между высотой потолка и высотой горючей среды, участвующей в пожаре. При выполнении расчетов рекомендуется исходить из того, что пожар происходит на уровне пола, и поэтому необходимо брать расстояние от пола до потолка. Это соответствует наиболее неблагоприятным условиям, и реальное обнаружение пожара произойдет раньше.

## 7.4 Температура срабатывания

Пороговую температуру или пороговую скорость изменения температуры, которые приводят к срабатыванию системы, берут из данных изготовителя.

Разница между паспортным значением температуры срабатывания  $T_S$  порогового извещателя и максимальной окружающей температурой  $T_a$  под потолком должна быть как можно меньше. Однако, чтобы уменьшить число ложных тревог, разность между температурой срабатывания и максимальным значением окружающей температуры не должна быть менее 11 °С.

## 7.5 Постоянная времени и тепловой коэффициент отклика $RTI$ тепловых извещателей

Тепловая энергия от потока воздуха под потолком поступает к чувствительному элементу теплового извещателя не мгновенно. Это происходит в течение некоторого времени. Знание скорости, с которой происходит процесс переноса тепла к чувствительному элементу извещателя, необходимо для точного прогнозирования его отклика. Для определения этой скорости нужно знать тепловой коэффициент отклика  $RTI$  извещателя и его постоянную времени  $\tau_0$ . Постоянная времени является мерой тепловой инерционности извещателя. Постоянная времени теплового извещателя  $\tau_0$  (или  $RTI$ ) должна определяться в испытательных тестах [8]. Некоторые результаты таких тестов приведены в [1]. В этой работе получена связь между паспортными требованиями к размещению извещателей (расстояние между извещателями), значениями пороговой температуры извещателей и значением тепловой постоянной времени. Эти данные приведены в таблице 3 и их можно использовать для определения постоянной времени тепловых извещателей.

Таблица 3 – Постоянная времени  $\tau_0$  тепловых извещателей в зависимости от температуры срабатывания и расстояние между извещателями, указанное в паспорте

Расстояние между извещателями, м	Постоянная времени $\tau_0$ , с						Среднее значение постоянной времени, с
	53,3 °С	57,2 °С	62,8 °С	71,1 °С	76,7 °С	91,1 °С	
3,05	400	330	262	195	160	97	196
4,57	250	190	156	110	89	45	110
6,10	165	135	105	70	52	17	70
7,62	124	100	78	48	32	–	48
9,14	95	80	61	36	22	–	36
12,19	71	57	41	18	–	–	–
15,24	59	44	30	–	–	–	–
21,34	36	24	9	–	–	–	–

Примечания:

1. Приведенные постоянные времени базируются на анализе в [1].
2. Приведенные постоянные времени можно преобразовать в коэффициент отклика  $RTI$ , используя выражение  $RTI = \tau_0 (1,5 \text{ м/с})^{1/2}$ .

Табличное значение расстояния между извещателями не всегда указывается в паспорте. Часто вместо расстояния между извещателями в паспорте указывают защищаемую площадь  $A$ . По заданной защищаемой площади можно определить величину радиального расстояния до очага пожара для конкретного извещателя:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Зная радиальное расстояние до очага пожара, можно вычислить и табличное значение расстояния между извещателями, если предположить, что извещатели располагаются в углах квадрата, а очаг пожара находится в его центре.

$$S = 2^{1/2} r.$$

В случае максимально-дифференциальных извещателей при определении постоянной времени можно считать, что постоянная времени в дифференциальном режиме равна постоянной времени этого извещателя при работе в пороговом режиме.

## **7.6 Скорость роста пожара**

Скорость развития пожара зависит от характеристик процесса горения и конфигурации горючей среды, участвующей в горении. После поджога большинство пожаров растет с ускорением. Информация о скорости развития пожара для различных горючих сред приведена в таблице 2.

В большинстве случаев неизвестны вид топлива и скорость роста пожара. В этом случае необходимо определить, как влияет на отклик изменение ожидаемой скорости роста пожара.

## **7.7 Размещение тепловых извещателей**

### **7.7.1 Размещение пороговых тепловых извещателей**

Рассматриваемый метод может использоваться для определения отклика порогового теплового извещателя при проектировании или анализе тепловых систем обнаружения пожара.

При проектировании системы обнаружения необходимо определить расположение извещателей, которое обеспечит достижение цели в данных условиях. Для этого отклик извещателя должен происходить в момент, когда пожар достигнет критического значения тепловыделения. Если анализируется существующая система обнаружения, то необходимо определить размер пожара в момент его обнаружения.

Рассматриваемые методы проектирования и анализа базируются на моделировании происходящих процессов массопереноса и теплотеплопереноса к чувствительному элементу теплового извещателя.

### **7.7.2 Перенос тепла к тепловым извещателям**

Перенос тепла к извещателю можно описать следующим уравнением:

$$Q_{total} = Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{rad}, \quad (8)$$

где  $Q_{total}$  – общее количество тепла, переносимого к извещателю;

$Q_{cond}$  – тепло, переносимое путем теплопроводности;

$Q_{conv}$  – тепло, переносимое путем конвекции;

$Q_{rad}$  – тепло, переносимое посредством излучения.

Так как обнаружение пожара должно происходить на его начальной стадии, излучательную составляющую переносимого тепла  $Q_{rad}$  можно считать пренебрежимо малой. Кроме того, так как чувствительный элемент большинства тепловых извещателей теплоизолирован от основания извещателя и от потолка, можно предполагать, что составляющая переносимого тепла, обусловленная теплопроводностью  $Q_{cond}$ , также пренебрежимо мала, особенно по сравнению со скоростью переноса тепла путем конвекции. Так как перенос основного количества тепла к чувствительному элементу происходит конвекцией, для расчета полного количества тепла, переносимого к чувствительному элементу, можно использовать следующее уравнение:

$$Q = Q_{conv} = H_c A(T_g - T_d), \quad (9)$$

где  $Q_{conv}$  – тепло, переносимое путем конвекции, кВт;

$H_c$  – коэффициент переноса тепла путем конвекции, кВт/м<sup>2</sup>·°С;

$A$  – площадь поверхности чувствительного элемента, м<sup>2</sup>;

$T_g$  – температура газов у извещателя при пожаре, °С;

$T_d$  – температура срабатывания или значение температуры извещателя, °С.

При этом изменение температуры во времени чувствительного элемента извещателя можно определить следующим образом:

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{Q}{mc}, \quad (10)$$

где  $\frac{dT_d}{dt}$  – скорость изменения температуры чувствительного элемента, град/с;

$Q$  – тепловыделение пожара, кВт;

$m$  – масса чувствительного элемента, кг;

$c$  – удельная теплоемкость чувствительного элемента, кДж/кг·°С.

Подставив (9) в (10), скорость изменения температуры чувствительного элемента можно выразить следующим образом:

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{H_c A (T_g - T_d)}{mc} \quad (11)$$

Динамический процесс конвективной передачи тепла от нагретой газовой среды к теплочувствительному элементу извещателя может быть охарактеризован постоянной времени процесса, и она будет являться характеристикой извещателя. Эта постоянная времени является функцией массы, удельной теплоемкости, площади чувствительного элемента, коэффициента переноса тепла путем конвекции и определяется по формуле

$$\tau = \frac{mc}{H_c A}, \quad (12)$$

где  $m$  – масса чувствительного элемента извещателя, кг;

$c$  – удельная теплоемкость чувствительного элемента, кДж/кг·°С;

$H_c$  – коэффициент переноса тепла путем конвекции кВт/м<sup>2</sup>·°С;

$A$  – площадь поверхности чувствительного элемента, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – постоянная времени извещателя, с.

Постоянная времени  $\tau$  является мерой чувствительности извещателя. Как видно из уравнения (12), в результате увеличения массы чувствительного элемента постоянная времени, а значит и время отклика увеличиваются.

Подставляя (12) в (11), получим следующее выражение:

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{T_g - T_d}{\tau} \quad (13)$$

Исследования показали, что коэффициент конвективного переноса тепла для элементов тепловых извещателей зависит от скорости газового потока. Этот коэффициент пропорционален корню квадратному из скорости газов, проходящих извещатель. Так как масса, теплоемкость и площадь элементов извещателя остаются постоянными, коэффициент отклика  $RTI$  можно выразить следующим образом:

$$\tau u^{1/2} \approx \tau_0 u_0^{1/2} = RTI, \quad (14)$$

где  $\tau$  – постоянная времени извещателя при скорости газового потока  $u$ , с;

$u$  – скорость газов пожара, м/с;

$\tau_0$  – постоянная времени извещателя при скорости газового потока  $u_0$ , с;

$u_0$  – рекомендованная при испытаниях извещателя скорость газов, м/с;

$RTI$  – индекс времени отклика.

Величина  $\tau_0$  определяется экспериментально при рекомендованной скорости  $u_0$ . Значение  $\tau$  может быть определено для любой другой скорости газов  $u$ . Значения постоянной времени связаны с требованиями по размещению извещателей. Эти результаты приведены в таблице 3. Значение  $RTI$  можно получить перемножая  $\tau_0$  на  $u_0^{1/2}$ .

Общепринято постоянную времени  $\tau_0$  определять для скорости  $u_0 = 1,5$  м/с. Например, когда  $u_0 = 1,5$  м/с, а  $\tau_0 = 30$  с, то  $RTI$  равен  $36 \text{ с}^{1/2}/\text{м}^{1/2}$ .

С другой стороны, извещатель, который имеет  $RTI$ , равный  $36 \text{ с}^{1/2}/\text{м}^{1/2}$ , будет иметь  $\tau_0 = 23,7$  с, если скорость газового потока составляет 2,4 м/с.

Поэтому для расчета переноса тепла к чувствительному элементу и для определения его температуры, исходя из локальных условий, созданных пожаром, можно использовать следующее выражение:

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{u^{1/2}(T_g - T_d)}{RTI}. \quad (15)$$

### 7.7.3 Взаимосвязь температуры и скорости воздушных потоков

Для прогнозирования работы теплового извещателя важными переменными являются скорость и температура газов вблизи него. Получены выражения для температуры и скорости газов вблизи извещателя, справедливые для пожаров, которые растут по степенному закону

$$Q = \alpha t^p, \quad (16)$$

где  $Q$  – теоретическое конвективное тепловыделение пожара, кВт;

$\alpha$  – скорость роста пожара, кВт/с;

$t$  – время, с;

$p$  – положительный показатель степени.

Температура и скорость газов под потолком при пожаре определяются следующим образом:

$$U_p^* = \frac{u}{A_0^{1/(3+p)} u^{1/(3+p)} H^{(p-1)/(3+p)}} = f\left(t_p^*, \frac{r}{H}\right); \quad (17)$$

$$\Delta T_p^* = g\left(t_p^*, \frac{r}{H}\right) = \frac{\Delta T}{A_0^{2/(3+p)} \frac{T_a}{g} \alpha^{2/(3+p)} H^{-(5-p)/(3+p)}}, \quad (18)$$

где  $U_p^*$  – приведенная скорость газов (безразмерная величина);

$$A_0 = \frac{g}{C_p T_a \rho_0}, \text{ м}^4/\text{с}^2 \text{ кДж}; \quad (19)$$

$H$  – высота потолка, м;

$r$  – расстояние от извещателя до оси факела пожара, м;

$t_p^*$  – приведенное время (безразмерная величина):

$$t_p^* = \frac{t}{A_0^{-1/(3+p)} \alpha^{-1/(3+p)} H^{4/(3+p)}}; \quad (20)$$

$\Delta T_p^*$  – температура под потолком (безразмерная величина);

$g$  – гравитационная постоянная (9,81 м/с<sup>2</sup>);

$T_a$  – максимальная температура окружающей среды под потолком без пожара, К;

$C_p$  – теплоемкость воздуха (1,0056 кДж/(кг·градус));

$\rho_0$  – плотность воздуха (1,2 кг/м<sup>3</sup>).

Из приведенных выше соотношений получены зависимости для пожаров, которые имеют тепловыделение, растущее по степенному закону с показателем степени  $p = 2$ . Моделирование роста пожара степенным законом с  $p = 2$  справедливо для большинства горючих сред. Время достижения тепловым фронтом точки  $r/H$  в этом случае будет равно

$$t_{2f}^* = 0,861 \left( 1 + \frac{r}{H} \right), \quad (21)$$

где  $t_{2f}^*$  – нормированное (безразмерное) время достижения тепловым фронтом точки  $r/H$ .

$$\Delta T_2^* = 0 \quad \text{для} \quad t_2^* < t_{2f}^*; \quad (22)$$

$$\Delta T_2^* = \left[ \frac{t_2^* - t_{2f}^*}{0,146 + 0,242r/H} \right]^{4/3} \quad \text{для } t_2^* \geq t_{2f}^*; \quad (23)$$

$$\frac{u_2^*}{(\Delta T_2^*)^{1/2}} = 0,59 \left( \frac{r}{H} \right)^{-0,63} \quad (24)$$

Если приведенные выше зависимости для температуры и скорости подставить в уравнение теплопереноса для извещателя и проинтегрировать, то аналитическое решение этого уравнения будет иметь вид

$$T_d(t) - T_d(0) = \left( \frac{\Delta T}{\Delta T_2^*} \right) \Delta T_2^* \left[ 1 - \frac{(1 - e^{-Y})}{Y} \right]; \quad (25)$$

$$\frac{dT_d(t)}{dt} = \frac{\left( \frac{4}{3} \right) \left( \frac{\Delta T}{\Delta T_2^*} \right) (\Delta T_2^*)^{1/4} (1 - e^{-Y})}{\left( \frac{t}{t_2^*} \right) D}, \quad (26)$$

где

$$Y = \frac{3}{4} \left( \frac{u}{u_2^*} \right)^{1/2} \left[ \frac{u_2^*}{\Delta T_2^*^{1/2}} \right]^{1/2} \left( \frac{\Delta T_2^*}{RTI} \right) \left( \frac{t}{t_2^*} \right) D \quad (27)$$

и

$$D = 0,146 + 0,242r/H. \quad (28)$$

#### 7.7.4 Ограничения

Если при пожаре скорость и температуру потока газов возле извещателя точно определить невозможно, то при расчете отклика извещателя будут допущены ошибки. Ошибки в оценках величины  $T_2^*$  могут превышать  $r/F\%$ . Эти ошибки достигают максимальных значений при величине  $r/H$ , равной примерно 0,37. Остальные значе-

ния  $r/H$  дают значительно меньшие погрешности в расчетах. Ошибка в определении прироста температуры под потолком при пожаре может находиться в пределах от 5 до 10 °С. Более значительные ошибки имеют место при быстрых пожарах и низких потолках. Ошибки в значениях скоростей газа при пожаре связаны с ошибками в значениях температуры.

Расчеты для наиболее неблагоприятных условий (быстрые пожары и низкие потолки) дают ошибки в размещении извещателей примерно плюс или минус один метр и даже менее.

## 8 ПРИМЕРЫ

### 8.1 Система пожарной сигнализации на складе

Система пожарной сигнализации должна быть спроектирована для монтажа в складском помещении без установок пожаротушения. Здание имеет большой плоский потолок высотой приблизительно 4 м. Температура в помещении большую часть времени находится вблизи 10 °С. Пожарная часть может приступить к тушению пожара примерно через 5,25 мин после объявления тревоги.

**Цель:** обеспечить защиту имущества.

**Цель, сформулированная заинтересованными сторонами:** не допустить распространение пожара за пределы начального очага.

**Задача проекта:** предотвратить загорание вторичной горючей среды излучением пожара.

#### **Критерии достижения цели**

После обсуждения с группой специалистов по распространению пожаров и определения необходимого значения энергии излучения для загорания прилегающей горючей среды установлено, что пожар должен быть обнаружен и начато его активное тушение до того, как мощность пожара достигнет значения 10000 кВт, т.е.  $Q_{DO} = 10000$  кВт.

#### **Сценарий и расчет пожара**

Оценка потенциального содержимого склада позволяет определить места хранения деревянных поддонов, которые представляют наибольший риск для возникновения пожара на данном складе.

Рассмотрим сценарий пожара, который начинается с поджога сложенных деревянных поддонов. Поддоны складывают в штабель высотой 0,5 м. Данные по тестовым пожарам, приведенные в [1], показывают, что такой тип пожара развивается по степенному закону  $t^2$  с  $t_g$ , равным приблизительно 150...310 секунд. Для наихудшего варианта принимается наибольшая скорость развития данного пожара. Используя уравнение (16), получим

$$Q \doteq \alpha t^2.$$

Для определения значения  $\alpha$  подставим  $Q = 1055$  кВт,  $t_g = 150$  с:

$$1055 \text{ кВт} = (\alpha \text{ кВт/с}^2)(150 \text{ с})^2$$

получим  $\alpha = 0,047$  кВт/с<sup>2</sup>.

Время  $t_{DO}$ , за которое пожар достигает мощности 10 000 кВт после того как возникло пламя, можно рассчитать из выражения

$$Q_{DO} = \left( \frac{1055}{t_c^2} \right) t_{DO}^2 = \alpha t_{DO}^2. \quad (29)$$

Для  $\alpha = 0,047$  кВт/с<sup>2</sup> получим  $t_{DO} = 461$  с.

*Критическое тепловыделение пожара  $Q_{CR}$  и время обнаружения пожара  $t_{CR}$ .* Предполагая, что время  $t_{respond}$ , необходимое для пожарной части, чтобы начать тушение пожара, равно 5,25 минут или 315 секунд, получим

$$t_{CR} = t_{DO} - t_{respond}; \quad (30)$$

$$t_{CR} = 461 - 315 = 146 \text{ с.}$$

Соответствующее критическое тепловыделение пожара будет равно

$$Q_{CR} = \alpha t_{CR}^2 = 1000 \text{ кВт.} \quad (31)$$

## 8.2 Размещение извещателей

Для установки на складе выбран пороговый тепловой извещатель с температурой срабатывания 57 °С. В соответствии с нормами такой тип извещателей устанавливается на расстоянии 9,1 м друг от

друга. Из таблицы 2 определяем постоянную времени, которая будет равна 80 с при скорости газов 1,5 м/с. Используя уравнение (14),  $RTI$  для такого извещателя можно рассчитать из выражения

$$RTI = \tau_0 u_0^{1/2} = 98 \text{ м}^{1/2} \text{ с}^{1/2}. \quad (32)$$

Теперь можно приступить к расчету размещения извещателей. Нам необходимо создать систему сигнализации, активный элемент которой (чувствительный элемент извещателя), установленный на некотором расстоянии  $r$  от точки проекции центра возможного пожара на потолок, после 146 с развития пожара (когда пожар достигнет тепловыделения 1000 кВт) будет иметь температуру 57 °С. Это температура срабатывания извещателя. Расчет проводится методом последовательных приближений. Например, в качестве первого приближения возьмем расстояние между извещателями, равное 4,7 м, что соответствует радиальному расстоянию 3,3 м. Если расчетная температура окажется выше, чем температура срабатывания, то расстояние (радиальное) до центра пожара нужно увеличить. После этого расчет необходимо повторять до тех пор, пока расчетная температура не будет приблизительно равна температуре срабатывания извещателя.

Последний шаг будет состоять в использовании расчетного значения  $r$  в уравнении, связывающем расстояние между извещателями и радиальное расстояние до центра пожара. Это позволит определить максимальное расстояние между извещателями, которое обеспечит отклик, удовлетворяющий цели проекта.

$$S = 2^{1/2} r, \quad (33)$$

где  $S$  – расстояние между извещателями;

$r$  – радиальное расстояние между извещателем и осью факела пожара.

### 8.3 Пример анализа существующей системы сигнализации

Анализ существующей системы пожарной сигнализации сводится в конечном счете к определению времени отклика или определению размера возможного пожара в момент срабатывания данной системы. Возьмем тот же сценарий, что и в предыдущем примере, но будем считать, что тепловые извещатели в складском помещении уже установлены. Пожар, здание и извещатели имеют те же характеристики, что и в предыдущем случае, за исключением их размещения. Извещатели размещены на потолке в соответствии с требованиями норм равномерно с интервалом 9,1 м.

Воспользуемся следующим уравнением, чтобы определить максимальное радиальное расстояние от оси пожара до извещателя:

$$S = 1,414r. \quad (34)$$

Из этого выражения получим

$$r = \frac{S}{1,414} = \frac{9,1 \text{ м}}{1,414} = 6,5 \text{ м},$$

где  $S$  – расстояние между извещателями;

$r$  – радиальное расстояние от оси факела пожара, м.

Оценим время отклика извещателя или размер пожара в момент отклика. В предыдущем случае пожар достигает величины 1000 кВт за 146 с. Так как радиальное расстояние в рассматриваемом проекте большое, то можно ожидать, что отклик произойдет позже, а размер пожара в момент отклика будет больше, чем в предыдущем примере. В первом приближении будем считать, что срабатывание произойдет через 3 мин. Пожар за это время достигнет тепловыделения, которое можно рассчитать по формуле (16) с  $p = 2$  и значением  $\alpha$  из предыдущего примера:

$$Q = \alpha t^2;$$
$$Q = (0,047 \text{ кВт/с}^2)(180 \text{ с})^2 = 1532 \text{ кВт}.$$

Для радиального расстояния 6,5 м через 3 мин горения расчетная температура извещателя будет составлять 41 °С. Пороговая температура выбранного извещателя равна 57 °С. Следовательно, время срабатывания извещателя реально будет больше, чем взятое нами первое приближение 3 мин. Если бы расчетная температура оказалась больше, чем пороговая температура извещателя, то нужно было бы использовать в расчетах меньшее время срабатывания извещателя, чем первое приближение. Такие расчеты должны проводиться для разных значений времени до тех пор, пока расчетная температура извещателя не станет приблизительно равной его пороговой температуре. В нашем примере время срабатывания должно составить 213 с. За такое время пожар достигнет тепловыделения 2132 кВт.

Эти расчеты не доказывают, будет ли эта ситуация реализована или нет. Они показывают, как изменяется температура, если не прекратится развитие пожара по степенному закону. Поэтому пользователь должен прежде всего проверить, достаточно ли горючей среды для реализации сценария. Если необходимого количества горючей среды нет, то кривая для скорости тепловыделения станет горизонтальной или начнет спадать еще до того, как тепловыделение пожара достигнет значения, необходимого для срабатывания извещателя.

Таблицы 4–14 позволяют сравнить скорости тепловыделения, время отклика и размещение извещателей при изменении характеристик пожара, извещателей и помещения.

Таблица 4 – Тепловыделение пожара и время срабатывания извещателей с разной пороговой температурой

Пороговая температура, °С	Тепловыделение пожара, кВт/с	Время отклика, с
57	2132	213
74	2798	244
93	3554	275

Таблица 5 – Размещение извещателей с разной пороговой температурой для значения предельного размера пожара, при котором он должен быть обнаружен,  $Q_d = 1000$  кВт

Пороговая температура, °С	Размещение, м
57	4,7
74	3,5
93	2,5

Таблица 6 – Тепловыделение пожара и время обнаружения пожара извещателями с разным  $RTI$  при расстоянии между ними  $S = 9,1$  м

$RTI$ , $м^{1/2}с^{1/2}$	Тепловыделение пожара, кВт	Время отклика, с
50	1609	185
150	2640	237
300	3898	288

Таблица 7 – Расстояние между извещателями (размещение) с разным  $RTI$  при обнаружении пожара размером  $Q_d = 1000$  кВт

$RTI$ , $м^{1/2}с^{1/2}$	Размещение, м
50	6,1
150	3,7
300	2,3

Таблица 8 – Тепловыделение пожара и время обнаружения пожара извещателями, расположенными на расстоянии  $S = 9,1$  м, при разной температуре окружающей среды

Температура окружающей среды, °С	Тепловыделение пожара, кВт	Время отклика, с
0	2552	233
20	1751	193
38	1058	150

Таблица 9 – Размещение извещателей для обнаружения пожара размером  $Q_d = 1000$  кВт при разной температуре окружающей среды

Температура окружающей среды, °С	Размещение, м
0	3,8
20	5,7
38	8,8

Таблица 10 – Тепловыделение пожара и время его обнаружения извещателями, расположенными на расстоянии  $S = 9,1$  м, при разной высоте потолка

Высота потолка, м	Тепловыделение пожара, кВт	Время отклика, с
2,4	1787	195
4,9	2358	224
7,3	3056	255

Таблица 11 – Размещение извещателей для обнаружения пожара размером  $Q_d = 1000$  кВт в помещениях с разной высотой потолка

Высота потолка, м	Размещение, м
2,4	5,8
4,9	4,0
7,3	2,1

Таблица 12 – Тепловыделение пожара и время его обнаружения извещателями, расположенными на расстоянии  $S = 9,1$  м друг от друга, в помещениях с разной высотой потолка

Размещение, м	Тепловыделение пожара, кВт	Время отклика, с
4,6	1000	146
9,1	2132	213
15,2	4146	297

Таблица 13 – Тепловыделение пожара и время его обнаружения извещателями, расположенными на расстоянии  $S = 9,1$  м друг от друга, при разной скорости развития пожара

Характеристика пожара	Тепловыделение пожара, кВт	Время отклика, с
Медленный $t_g = 400$ с	1250	435
Средний $t_g = 250$ с	1582	306
Быстрый $t_g = 100$ с	2769	162

Таблица 14 – Размещение извещателей для обнаружения пожара размером  $Q_d = 1000$  кВт с разной скоростью его развития

Характеристика пожара	Размещение, м
Медленный $t_g = 400$ с	8,2
Средний $t_g = 250$ с	6,5
Быстрый $t_g = 100$ с	3,7

## 8.4 Примеры рабочих таблиц при выполнении расчетов

### Пример 1

Этап	Вид расчета	Расчетные формулы и результаты расчета
1	Определение окружающей температуры $T_a$ , высоты потолка или высоты над топливом $H$	$T_a = \underline{10} \text{ } ^\circ\text{C} + 273 = \underline{283} \text{ } \text{K}$ $H = \underline{4} \text{ } \text{м}$
2	Определение характеристик роста пожара $\alpha$ или $t_g$ для ожидаемого пожара	$\alpha = \underline{0,047} \text{ } \text{кВт/с}^2$ $t_g = \underline{150} \text{ } \text{с}$
3	Определение характеристик извещателей	$T_S = \underline{57} \text{ } ^\circ\text{C} + 273 = \underline{330} \text{ } \text{K}$ $RTI = \underline{98} \text{ } \text{м}^{1/2}\text{с}^{1/2}$ $\frac{dT_d}{dt} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } ^\circ\text{C/мин}$ $\tau_0 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } \text{с}$
	<i>При проектировании</i> Определение $t_{CR}$ , $Q_{CR}$ и расстояние $r$ от оси факела пожара до извещателя	$t_{CR} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } \text{с}$ $r = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } \text{м}$ $Q_{CR} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } \text{кВт}$
	<i>При анализе существующей системы</i> Выяснить расположение установленных извещателей и сделать первую оценку времени отклика и размера пожара в момент срабатывания	$r = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 1,41 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } \text{S, м}$ $Q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } \text{кВт}$ $t_d = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } \text{с}$

Этап	Вид расчета	Расчетные формулы и результаты расчета
4	Используя уравнение (21), рассчитать безразмерное время $t_{2f}^*$	$t_{2f}^* = 0,861 \left( 1 + \frac{r}{H} \right)$ $t_{2f}^* = \underline{1,57}$
5	Расчет фактора $A$ с использованием формулы (20)	$A = \frac{g}{C_p T_a \rho_0} \quad A = \underline{0,030}$
6	Используя требуемое время отклика $t_{CR}$ вместе с соотношениями для $t_p^*$ в уравнении (19) и $p = 2$ , рассчитать соответствующее значение $t_2^*$	$t_2^* = \frac{t_{CR}}{A^{-1/(3+p)} \alpha^{-1/(3+p)} H^{4/(3+p)}}$ $t_2^* = \underline{12,98}$
7	Если $t_2^* > t_{2f}^*$ , выполнять пункт 8. Если нет, то необходимо вернуться к пункту 4 и выполнить расчеты для другого размещения извещателя $r$	
8	Рассчитать отношение $\frac{u}{u_2^*}$ , используя уравнение (17), принять $U_p^* = u_2^*$	$\frac{u}{u_2^*} = A^{1/(3+p)} \alpha^{1/(3+p)} H^{(p-1)/(3+p)}$ $\frac{u}{u_2^*} = 0,356$
9	Рассчитать отношение $\frac{\Delta T}{\Delta T_2^*}$ , используя уравнение (18)	$\frac{\Delta T}{\Delta T_2^*} = A^{2/(3+p)} \left( \frac{T_a}{g} \right) \alpha^{2/(3+p)} H^{-(5-p)/(3+p)}$ $\frac{\Delta T}{\Delta T_2^*} = 0,913$

Этап	Вид расчета	Расчетные формулы и результаты расчета
10	Расчет $\Delta T_2^*$ с использованием уравнения (23)	$\Delta T_2^* = \left[ \frac{t_2^* - t_{2f}^*}{\left( 0,146 + \frac{0,242r}{H} \right)} \right]^{4/3}$ $\Delta T_2^* = 105,89 \text{ ---}$
11	Используя уравнение (24), рассчитать отношение $\frac{u_2^*}{(\Delta T_2^*)^{1/2}}$	$\frac{u_2^*}{(\Delta T_2^*)^{1/2}} = 0,59 \left( \frac{r}{H} \right)^{-0,63}$ $\frac{u_2^*}{(\Delta T_2^*)^{1/2}} = 0,66 \text{ ---}$
12	Используя уравнения (27) и (28), рассчитать $Y$	$Y = \left( \frac{3}{4} \right) \left( \frac{u}{u_2^*} \right)^{1/2} \left[ \frac{u_2^*}{(\Delta T_2^*)^{1/2}} \right]^{1/2} \left( \frac{\Delta T_2^*}{RTI} \right) \left( \frac{t}{t_2^*} \right)^D$ $Y = 1,533 \text{ ---}$
13	Пороговый тепловой извещатель. Используя уравнение (25), рассчитать результирующую температуру извещателя $T_d(t)$	$T_d(t) = \left( \frac{\Delta T}{\Delta T_2^*} \right) \Delta T_2^* \left[ 1 - \frac{(1 - e^{-Y})}{Y} \right] + T_d(0)$ $T_d(t) = \underline{57,25}$
14	Дифференциальный извещатель. Используем уравнение (26)	$dT_d = \left[ \left( \frac{4}{3} \right) \left( \frac{\Delta T}{\Delta T_2^*} \right) (\Delta T_2^*)^{1/4} \frac{(1 - e^{-Y})}{\left[ \left( \frac{t}{t_2^*} \right)^D \right]} \right] dt$ $dT_d = \text{---}$

Этап	Вид расчета	Расчетные формулы и результаты расчета	
15	Если: 1. $T_d > T_S$  2. $T_d < T_S$  3. $T_d = T_S$	Проектирование  1. Увеличиваем $r$  2. Уменьшаем $r$  3. $S = 1,41r = 4,7$ м	Анализ  1. Увеличиваем $t_r$  2. Уменьшаем $t_r$  3. $t_r = \underline{\hspace{2cm}}$ с

Пример 2

Этап	Вид расчета	Расчетные формулы и результаты расчета
1	Определение окружающей температуры $T_a$ , высоты потолка или высоты над топливом $H$	$T_a = \underline{10} \text{ } ^\circ\text{C} + 273 = \underline{283} \text{ } \text{K}$ $H = \underline{4} \text{ } \text{м}$
2	Определение характеристик роста пожара $\alpha$ или $t_g$ для ожидаемого в проекте пожара	$\alpha = \underline{0,047} \text{ } \text{кВт/с}^2$ $t_g = \underline{150} \text{ } \text{с}$
3	Определение характеристик извещателей	$T_S = \underline{57} \text{ } ^\circ\text{C} + 273 = \underline{330} \text{ } \text{K}$ $RTI = \underline{98} \text{ } \text{м}^{1/2}\text{с}^{1/2}$ $\frac{dT_d}{dt} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } ^\circ\text{C/мин}$ $\tau_0 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } \text{с}$
	<i>При проектировании</i> Определение $t_{CR}$ , $Q_{CR}$ и расстояние $r$ от пожара до извещателя	$t_{CR} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } \text{с}$ $r = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } \text{м}$ $Q_{CR} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } \text{кВт}$
	<i>При анализе существующей системы</i> Выяснить расположение установленных извещателей и сделать первую оценку времени отклика или размера пожара в момент срабатывания	$r = \underline{6,5} \cdot 1,41 = \underline{9,2} = \underline{\hspace{1cm}} S, \text{ м}$ $Q = \underline{1,523} \text{ } \text{кВт}$ $t_d = \underline{180} \text{ } \text{с}$
4	Используя уравнение (21), рассчитать безразмерное время $t_{2f}^*$	$t_{2f}^* = 0,861 \left( 1 + \frac{r}{H} \right)$ $t_{2f}^* = \underline{2,26}$

Этап	Вид расчета	Расчетные формулы и результаты расчета
5	Расчет фактора $A$ с использованием формулы (20)	$A = \frac{g}{C_p T_a \rho_0} \quad A = \underline{0,030}$
6	Используя требуемое время отклика $t_{CR}$ вместе с соотношениями для $t_p^*$ в уравнении (19) и $p = 2$ , рассчитать соответствующее значение $t_2^*$	$t_2^* = \frac{t_{CR}}{A^{-1/(3+p)} \alpha^{-1/(3+p)} H^{4/(3+p)}}$ $t_2^* = \underline{16}$
7	Если $t_2^* > t_{2f}^*$ , выполнять пункт 8. Если нет, то необходимо вернуться к пункту 4 и выполнить расчеты для другого размещения извещателя $r$	
8	Рассчитать отношение $\frac{u}{u_2^*}$ , используя уравнение (17), принять $U_p^* = u_2^*$	$\frac{u}{u_2^*} = A^{1/(3+p)} \alpha^{1/(3+p)} H^{(p-1)/(3+p)}$ $\frac{u}{u_2^*} = 0,356$
9	Рассчитать отношение $\frac{\Delta T}{\Delta T_2^*}$ , используя уравнение (18)	$\frac{\Delta T}{\Delta T_2^*} = A^{2/(3+p)} \left( \frac{T_a}{g} \right) \alpha^{2/(3+p)} H^{-5/(3+p)}$ $\frac{\Delta T}{\Delta T_2^*} = 0,913$
10	Расчет $\Delta T_2^*$ с использованием уравнения (23)	$\Delta T_2^* = \left[ \frac{t_2^* - t_{2f}^*}{\left( 0,146 + \frac{0,242r}{H} \right)} \right]^{4/3}$ $\Delta T_2^* = 75,01 \underline{\hspace{1cm}}$

Этап	Вид расчета	Расчетные формулы и результаты расчета
11	Используя уравнение (24), рассчитать отношение $\frac{u_2^*}{(\Delta T_2^*)^{1/2}}$	$\frac{u_2^*}{(\Delta T_2^*)^{1/2}} = 0,59 \left( \frac{r}{H} \right)^{-0,63}$ $\frac{u_2^*}{(\Delta T_2^*)^{1/2}} = 0,435 \text{ -----}$
12	Используя уравнения (27) и (28), рассчитать $Y$	$Y = \left( \frac{3}{4} \right) \left( \frac{u}{u_2^*} \right)^{1/2} \left[ \frac{u_2^*}{(\Delta T_2^*)^{1/2}} \right]^{1/2} \left( \frac{\Delta T_2^*}{RTI} \right) \left( \frac{t}{t_2^*} \right)^D$ $Y = 1,37 \text{ -----}$
13	Пороговый тепловой извещатель.  Используя уравнение (25), рассчитать результирующую температуру извещателя $T_d(t)$	$T_d(t) = \left( \frac{\Delta T}{\Delta T_2^*} \right) \Delta T_2^* \left[ 1 - \frac{(1 - e^{-Y})}{Y} \right] + T_d(0)$ $T_d(t) = \underline{41}$
14	Дифференциальный извещатель.  Используем уравнение (26)	$dT_d = \left[ \left( \frac{4}{3} \right) \left( \frac{\Delta T}{\Delta T_2^*} \right) (\Delta T_2^*)^{1/4} \frac{(1 - e^{-Y})}{\left[ \left( \frac{t}{t_2^*} \right)^D \right]} \right] dt$ $dT_d = \text{-----}$
15	Если: 1. $T_d > T_S$  2. $T_d < T_S$  3. $T_d = T_S$	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Проектирование</p> <p>1. Увеличиваем <math>r</math></p> <p>2. Уменьшаем <math>r</math></p> <p>3. <math>S = 1,41r = 4,7 \text{ м}</math></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Анализ</p> <p>1. Увеличиваем <math>t_r</math></p> <p>2. Уменьшаем <math>t_r</math></p> <p>3. <math>t_r = \text{-----} \text{ с}</math></p> </div> </div>

## 9 РАЗМЕЩЕНИЕ ДЫМОВЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Требования к размещению дымовых извещателей, приведенные в нормативных документах [6], так называемые табличные значения параметра размещения, рассчитаны на применение в случаях проектирования систем пожарной сигнализации, когда значение времени отклика дымового извещателя не критично. Такие ситуации встречаются при проектировании типовых СПС. Аналогичные требования к размещению дымовых пожарных извещателей, например в США, приведены в NFPA 72 [1]. В других случаях требуется дополнительный анализ характеристик возможного пожара (горючая среда, скорость роста пожара), процесса переноса продуктов горения, параметров извещателя и защищаемого помещения.

Табличные значения параметров размещения дымовых извещателей не позволяют определить время обнаружения пожара с приемлемой погрешностью, как это имеет место в случае тепловых извещателей. Производитель пожарных дымовых извещателей обычно дает лишь рекомендации по их размещению. Известно, что самое большое расстояние между дымовыми извещателями при испытании в огневой камере составляет 7,6 м. Именно эта величина рекомендуется на практике в качестве параметра размещения дымовых пожарных извещателей при высоте потолков до 9 м при условии, что извещатели устанавливаются в помещениях с гладкими потолками. Требования для уменьшения расстояния между извещателями получены эмпирически с учетом факторов, которые влияют на отклик извещателей, включая высоту потолка, наличие балок, областей с большой скоростью движения воздушных масс.

Прогнозирование времени отклика дымовых пожарных извещателей основывается на понимании процессов, происходящих в факеле и в потоках тазов под потолком при пожаре, кроме того, необходимо знать дымообразующие свойства предполагаемого горючего и характер изменения свойств частиц дыма из-за процессов его старения. При прогнозировании времени отклика дымовых пожарных извещателей важно знать также характеристики самих дымовых извещателей.

Известны три метода прогнозирования времени отклика дымовых пожарных извещателей. В основе первого метода лежит использование зависимости оптической плотности задымленной среды от температуры воздуха, содержащего дым, при пламенном пожаре. Второй метод использует зависимость оптической плотности среды от массовой плотности дыма в предположении, что однородный дым заполняет известный объем, например все помещение, и беспрепятственно проникает в извещатель. В основе третьего метода лежит хорошо установленный факт, что требуется минимальная критическая скорость воздушных потоков или дыма за пределами извещателя, прежде чем дым сможет проникнуть в чувствительную камеру дымового извещателя. Этот метод предполагает, что если достигнута критическая скорость газоздушного потока под потолком при пожаре, то он имеет достаточную концентрацию дыма для того, чтобы извещатель сформировал сигнал тревоги.

### **9.1 Прогнозирование времени отклика дымового извещателя по изменению температуры окружающей среды под потолком при пламенном пожаре**

В случае пламенного горения на начальной стадии пожара соотношение между температурой и оптической плотностью окружающей среды в одной и той же точке пространства в пределах факела и под потолком вблизи него остается в значительной степени величиной постоянной. Это следует из того, что нагретые пламенем слои воздуха переносят частицы дыма точно так же, как и тепло. При более строгом рассмотрении процессов пламенного горения следует учитывать существенную зависимость соотношения между температурой и оптической плотностью окружающей среды от вида топлива и режима горения. В NFPA 72 [1] приведены значения температуры под потолком в момент, когда концентрация дыма в той же точке достигает величины, при которой срабатывают дымовые извещатели (ионизационные и точечные оптико-электронные).

Таблица 15 – Прирост температуры окружающей среды в момент срабатывания дымовых извещателей для различного топлива

Материал топлива	Прирост температуры окружающей среды в момент срабатывания дымового извещателя, °С	
	Ионизационный извещатель	Точечный оптико-электронный
Дерево	13,9	41,7
Хлопок	1,7	27,8
Полиуретан	7,2	7,2
Поливинилхлорид	7,2	7,2

При расчете эффективности системы пожарной сигнализации с дымовыми пожарными извещателями из таблицы 15 определяют прирост температуры, необходимый для срабатывания дымового извещателя при горении того или иного материала. Затем, применяя степенной закон роста пожара, определяют время, необходимое для достижения пожаром критического значения тепловыделения:

$$Q_{DO} = \alpha t_{DO}^2.$$

Критическое значение тепловыделения пожара определяется критерием достижения цели системы пожарной сигнализации. Чтобы определить критическое время, которое может пройти от начала горения до обнаружения извещателем пожара, необходимо вычесть из времени  $t_{DO}$  время, которое нужно пожарной части или другим лицам для начала ликвидации пожара. В расчетах к времени  $t_{DO}$  добавляют резервное время длительностью 30 с. Результат этих вычислений дает тот момент времени, в который пожар должен быть обнаружен. По полученному значению времени определяют величину тепловыделения, которую может достигнуть пожар к моменту его обнаружения. Для этого значения тепловыделения (по методике оценки эффективности тепловых пожарных извещателей) определяется температура в месте расположения извещателя. Если рассчитанная температура окружающей среды в момент времени, когда

пожар должен быть обнаружен, будет равна или больше температуры, необходимой для срабатывания дымового извещателя из таблицы 15, то обнаружение пожара произойдет вовремя.

## 9.2 Прогнозирование времени отклика дымового извещателя по значению массовой оптической плотности среды

При моделировании процесса обнаружения дыма используют понятие удельного массового показателя (коэффициента) экстинкции  $\sigma_s$  или удельной массовой оптической плотности воздушной среды  $D_m$  [7]. Они связаны с показателем экстинкции  $\beta$  и удельной оптической плотностью  $m$  следующими выражениями:

$$\beta = \sigma_s C_m;$$

$$m = D_m C_m,$$

где  $\beta$  – показатель экстинкции;

$$C_m = \frac{\Delta m}{V_c} \text{ – массовая концентрация дыма;}$$

$\Delta m$  – масса сгоревшего топлива;

$V_c$  – объем, заполненный дымом.

Массовую концентрацию дыма можно выразить через потерю массы горящего образца  $\dot{m}$  и скорость воздушного потока, переносящего дым  $\dot{V}$  [7]:

$$C_m = \frac{\dot{m}}{\dot{V}_c}.$$

Удельный массовый показатель экстинкции и удельная массовая оптическая плотность имеют размерность  $\text{м}^2 \text{г}^{-1}$ . Удельный массовый показатель экстинкции  $\sigma_s$  иногда называют *удельным сечением экстинкции сжигаемого материала*  $\sigma_f$ . Значение удельного сечения экстинкции при горении деревянной детской кроватки составляет

0,03 м<sup>2</sup>/г, а в случае горения сырой нефти – 1,0 м<sup>2</sup>/г. Из измерений показателя экстинкции при известном значении удельного массового показателя экстинкции можно определить более фундаментальную и значимую для противопожарной защиты характеристику дыма, которой является его массовая концентрация. Знание массовой концентрации дыма позволяет в первом приближении сделать оценку отклика дымового извещателя, видимости через задымленную область, определить количество частиц дыма, осевших на потолок и пол, количество теплового излучения, достигшего пола, если известна температура верхних слоев дыма. Более точная оценка этих параметров требует дополнительной информации о концентрации частиц дыма, оптических свойствах дыма и о распределении частиц дыма по размерам.

Методика для определения массовой концентрации дыма из измерений экстинкции света при прохождении его через задымленную область изложена в [7], она основывается на законе Бугера–Ламберта, который можно записать в виде

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\sigma_s C_m l},$$

где  $l$  – толщина слоя среды, через которую проходит оптическое излучение.

Определение массовой концентрации из измерений экстинкции стало возможным только после того, как было установлено, что удельный массовый коэффициент экстинкции является величиной почти универсальной для дыма за пределами пламени. В работах [7, 8] показано, что  $\sigma_s$  имеет среднее значение 8,7 м<sup>2</sup>г<sup>-1</sup> на длине волны 632,8 нм. Вывод сделан на основе исследований пожаров с разнообразными материалами в качестве топлива. Основным доводом, подтверждающим универсальность значения удельного массового коэффициента экстинкции, является утверждение, что сажа всех пламенных пожаров в основном состоит из углерода в форме агломерата (почти сферической формы), размер такой «сферы» гораздо меньше длины волны света [9]. Исследования в этой работе проводились для трех длин волн: 450, 630 и 1000 нм. Показано, что в таких условиях сечение поглощения света пропорционально массе и

не зависит от размера частиц, таким образом оно дает основной вклад в коэффициент экстинкции. Вклад сечения рассеяния значительно меньше, а именно оно зависит от размера частиц.

Пусть необходимо обнаружить дым от пламени горящей 400-граммовой полиуретановой подушки от кресла менее чем за 2 мин после начала пожара. Кресло расположено в помещении площадью  $40 \text{ м}^2$ . Высота потолка 3 м. Известно, что скорость горения такой подушки постоянна и равна  $50 \text{ г/мин}$ .

Полная потеря массы подушки за счет горения в течение 2 мин составит 100 г. Поэтому удельная оптическая плотность среды в комнате с горящей подушкой может быть рассчитана по формуле

$$m = \frac{D_m M}{V_c},$$

где  $D_m$  – массовая оптическая плотность,  $\text{м}^2/\text{г}$ ;

$M$  – масса сгоревшего топлива, г;

$V_c$  – объем помещения;

$$m = \frac{[(0,22 \text{ м}^2/\text{г})(100 \text{ г})]}{(40 \text{ м}^2)(3 \text{ м})} = 0,183 \text{ м}^{-1}.$$

Если предположить, что пороговое значение удельной оптической плотности для дымового точечного извещателя составляет  $0,14 \text{ м}^{-1}$  для черного дыма, то можно считать, что через две минуты извещатель гарантированно работает.

Заметим, что этот метод является очень упрощенным. Он предполагает, что дым заполняет всю комнату, хорошо перемешан, достигает потолка и беспрепятственно проникает в извещатель.

На практике случай, когда дым распределяется по всему объему помещения, является очень редким и наиболее неблагоприятным. При проектировании допускается представлять слой дыма как цилиндрический объем с факелом в центре, что показано на рисунке 1. Высота цилиндра должна равняться толщине потока под потолком или его части.

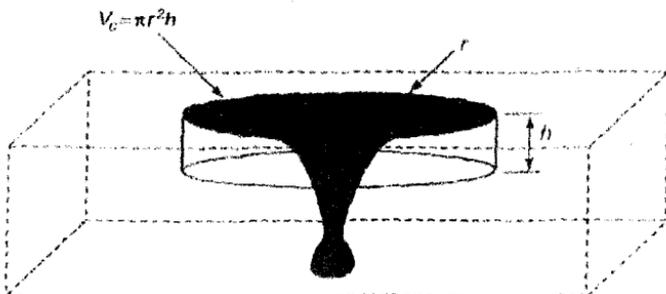


Рисунок 1 – Распределение дыма в помещении при пламенном пожаре

Объем цилиндра  $V_c = \pi r^2 h$  можно использовать как искомый объем в выражении для удельной оптической плотности.

Максимальное расстояние  $r$  между извещателем и осью шлейфа дыма, на котором прогнозируется срабатывание извещателя с пороговым значением удельной оптической плотности  $0,14 \text{ м}^{-1}$ , можно определить из формулы

$$r = \left( \frac{D_m M}{0,14 \pi h} \right)^{1/2}.$$

Заметим, что результат такого расчета сильно зависит от принятого значения толщины слоя  $h$ . Проектировщик должен тщательно подходить к используемому значению толщины слоя дыма. Этот метод не учитывает существование минимальной скорости потока через извещатель и задержку при проникновении дыма внутрь извещателя.

Использование приближения цилиндрического объема справедливо только в случае, когда срабатывание ожидается до того, как поток дыма под потолком достигнет стен. Как только поток достигнет стен, он начнет изменять форму и толщину. В этом случае необходимо изменить уравнение, заменив цилиндрический объем объемом с плоскими стенками.

Общепринято считать, что поток дыма занимает слой, составляющий примерно 10 % от расстояния между полом и потолком, однако использование такого соотношения ведет к слишком оптимистичным результатам. Более реальные результаты получаются если считать, что толщина потока составляет от 20 до 25 % расстояния от пола до потолка.

Метод массовой оптической плотности позволяет проектировщику анализировать существующие системы пожарной сигнализации на основе дымовых извещателей. Если дымовой извещатель срабатывает при значении удельной оптической плотности  $0,14 \text{ м}^{-1}$ , то можем записать

$$m = 0,14 = \frac{D_m M}{V_c}.$$

Для обеспечения такой удельной оптической плотности масса сгоревшего вещества составит

$$M = \frac{D_A \pi r^2 h}{D_m}.$$

При таком пожаре выделится тепло в количестве

$$H(t) = M \Delta H_c,$$

где  $\Delta H_c$  – удельная теплота сгорания топлива.

Принимая, что  $H(t) = \frac{\alpha t^3}{3}$  для массы сгоревшего топлива, можно записать

$$M = \frac{\alpha t^3}{3 \Delta H_c}.$$

Приравняв полученные выражения, получим

$$\frac{\alpha t^3}{3 \Delta H_c} = \frac{D_A \pi r^2 h}{D_m}.$$

Из полученного выражения можно определить время  $t$  от момента начала пожара до момента, когда удельная оптическая плотность достигнет порогового значения:

$$t = \left( \frac{3D_A \pi r^2 h \Delta H_c}{\alpha D_m} \right)^{1/3}.$$

В эту оценку времени срабатывания дымового пожарного извещателя должна быть введена поправка на задержку проникновения дыма внутрь извещателя. Это время задержки зависит от конструкции извещателя и скорости воздушного потока под потолком и в большинстве случаев не определено количественно. Следовательно, инженер должен сделать оценку времени задержки  $t_e$ , вызванной проникновением дыма в извещатель, исходя из тех или иных обоснованных соображений. Таким образом, время отклика дымового пожарного извещателя можно оценить по формуле

$$t = \left( \frac{3D_A \pi r^2 h \Delta H_c}{\alpha D_m} \right)^{1/3} + t_e.$$

На основании этого выражения можно прогнозировать время, за которое массовая оптическая плотность достигнет порогового значения в объеме, который определяется расположением извещателей и принятой толщиной слоя, занятого дымом под потолком. Зная это время, можно определить тепловыделение в момент формирования сигнала тревоги если известно, что пожар характеризуется степенным законом

$$Q = \alpha t^2.$$

Подставляя в это выражение значение  $t$ , получим выражение для тепловыделения в момент формирования сигнала тревоги:

$$Q_a = \alpha \left[ \left( \frac{3D_A \pi r^2 h H_c}{\alpha D_m} \right)^{1/3} + t_e \right]^2.$$

### 9.3 Метод критической скорости

Исследования показали, что для того чтобы дым проникал в чувствительную камеру дымового извещателя, в месте его установки воздушный поток должен обладать некоторой минимальной критической скоростью. В методе критической скорости предполагается, что если такая скорость достигается, то в газоздушном потоке под потолком будет достаточная концентрация дыма для формирования сигнала тревоги.

## ЛИТЕРАТУРА

1 National Fire Alarm Code. Handbook / Fourth edition. Edited by Lee F. Richardson, Wayne D. Moore, P.E., FSFPE. – National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2004. – 680 p.

2 СТП БНТУ 3.01-2003. Стандарт предприятия. Курсовое проектирование. – Введ. 14.01.03. – Минск: БНТУ, 2003. – 15 с.

3 МИ БНТУ 3.01-2003. Методическая инструкция Белорусского национального технического университета. Единая система стандартизации БНТУ. Дипломное проектирование. – Введ. 27.01.2004. – Минск: БНТУ, 2004. – 41 с.

4 ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 01.07.92. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. – 78 с.

5 СТБ 11.0.02-95. Государственный стандарт Республики Беларусь. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность. Общие требования и определения. – Введ. 10.01.95. – Минск: Белстандарт, 1995. – 25 с.

6 СНБ 2.02.05-04. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Строительные нормы Республики Беларусь. Пожарная автоматика. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2004.

7 Design and Testing of a New Smoke Concentration Meter / G.W. Mulholland [and all] // Fire and Materials. – 2000. – V. 24. – P. 231–243.

8 Mulholland, G.W. Specific Extinction Coefficient of Flame Generated Smoke / G.W. Mulholland, C. Croarkin // Fire and Materials. – 2000. – V. 24. – P. 227–230.

9 Dobbins, R.A. Comparison of a Fractal Smoke Optics Model with Light Extinction Measurements / R.A. Dobbins, G.W. Mulholland, N.P. Bryner // Atmospheric Environment. – 1994. – V. 28, № 5. – P. 889–897.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение. . . . .	3
1 Методические указания к выполнению курсовой работы. . . . .	5
1.1 Цели и задачи курсовой работы. . . . .	5
1.2 Тематика курсовых работ. . . . .	6
1.3 Основные требования к содержанию курсовой работы. . . . .	6
1.4 Критерии готовности работы к защите. . . . .	7
1.5 Рекомендации по выполнению курсовой работы. . . . .	7
1.6 Требования к оформлению. . . . .	9
2 Определение целей и задач систем пожарной сигнализации. . . . .	10
2.1 Разновидности проектных работ инженера- проектировщика систем пожарной сигнализации. . . . .	10
2.2 Цели пожарной сигнализации. . . . .	10
2.3 Цели заинтересованных сторон. . . . .	11
2.4 Задачи пожарной сигнализации и критерии достижения целей. . . . .	12
3 Разработка сценария пожара. . . . .	14
3.1 Описание (характеристика) объекта защиты. . . . .	14
3.2 Характеристика людей на объекте. . . . .	15
3.3 Характеристика пожара. . . . .	15
3.4 Примерный сценарий пожара в компьютерном классе. . . . .	17
4 Расчет процесса горения. . . . .	18
4.1 Тепловыделение пожара. . . . .	19
4.2 Скорость развития пожара. . . . .	20
4.3 Высота пламени. . . . .	22
5 Критический размер пожара. . . . .	23
5.1 Факторы, определяющие интервал времени между обнаружением пожара и началом его тушения. . . . .	23
5.2 Факторы, определяющие время эвакуации людей. . . . .	24
5.3 Действия, предпринимаемые пожарными по ликвидации пожара. . . . .	25
6 Составление итогового документа. . . . .	26
7 Оценка эксплуатационных характеристик СПС с тепловыми пожарными извещателями (ПИ). . . . .	27
7.1 Необходимые исходные данные. . . . .	27

7.2	Окружающая температура. . . . .	28
7.3	Влияние высоты потолка. . . . .	29
7.4	Температура срабатывания. . . . .	30
7.5	Постоянная времени и тепловой коэффициент отклика RTI тепловых извещателей. . . . .	30
7.6	Скорость роста пожара. . . . .	32
7.7	Размещение тепловых извещателей. . . . .	32
7.7.1	Размещение пороговых тепловых извещателей. . . . .	32
7.7.2	Перенос тепла к тепловым извещателям. . . . .	32
7.7.3	Взаимосвязь температуры и скорости воздушных потоков. . . . .	36
7.7.4	Ограничения. . . . .	39
8	Примеры. . . . .	40
8.1	Система пожарной сигнализации на складе. . . . .	40
8.2	Размещение извещателей. . . . .	41
8.3	Пример анализа существующей системы сигнализации. . . . .	43
8.4	Примеры рабочих таблиц при выполнении расчетов. . . . .	48
9	Размещение дымовых извещателей. . . . .	55
9.1	Прогнозирование времени отклика дымового извещателя по изменению температуры окружающей среды под потолком при пламенном пожаре. . . . .	56
9.2	Прогнозирование времени отклика дымового извещателя по значению массовой оптической плотности среды. . . . .	58
9.3	Метод критической скорости. . . . .	64
	Литература. . . . .	65

Учебное издание

АНТОШИН Александр Анатольевич  
ЕСИПОВИЧ Дмитрий Леонидович  
ПУКАЧ Анатолий Анатольевич  
ОЛЕФИР Геннадий Иванович

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ  
СИГНАЛИЗАЦИИ

Учебно-методическое пособие  
к выполнению курсовой работы по дисциплине  
«Первичные измерительные преобразователи в системах  
безопасности»  
для студентов специальности 1-38 02 03  
«Техническое обеспечение безопасности»

Редактор Н.В. Артюшевская  
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

---

Подписано в печать 02.09.2008.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 3,09. Тираж 100. Заказ 338.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ 02330/0131627 от 01.04.2004.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.