

202

Министерство по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь

# **ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ: ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ**

*Сборник научных трудов  
VII Международной  
научно-практической конференции,  
посвященной 60-летию создания первого  
в Республике Беларусь научного подразделения  
в области предупреждения и ликвидации  
чрезвычайных ситуаций и пожаров*

**В ДВУХ ЧАСТЯХ**

**Часть 1**

Минск:  
«Колосъ»  
2016

УДК 614.8.084(476)(082)

ББК 68.9(4Бел)я43

Ч-76

Рекомендовано Научно-техническим советом  
учреждения «Научно-исследовательский институт  
пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций»  
МЧС Республики Беларусь

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук Ю.С. Иванов (*научный редактор*);

канд. техн. наук О.В. Черневич (*ответственный секретарь*);

д-р физ.-мат. наук Н.С. Лешенюк;

д-р физ.-мат. наук В.В. Богданова, канд. техн. наук О.Д. Навроцкий;

канд. физ.-мат. наук А.И. Кицак

**Чрезвычайные ситуации: предупреждение и  
ликвидация** : сборник научных трудов VII Международной  
научно-практической конференции, посвященной 60-летию  
создания первого в Республике Беларусь научного  
подразделения в области предупреждения и ликвидации  
чрезвычайных ситуаций и пожаров. В 2 ч. Ч. 1 / редкол.:  
Ю.С. Иванов [и др.]. – Минск : Колорград, 2016. – 444 с.  
ISBN 978-985-7170-12-8.

В сборнике представлены научные статьи и доклады участников  
VII Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные  
ситуации. предупреждение и ликвидация», состоявшейся 1 ноября 2016 года.

Материалы сборника освещают вопросы по современным  
технологиям ликвидации чрезвычайных ситуаций, научно-техническим  
разработкам в области аварийно-спасательной техники и оборудования,  
предупреждению и оценке рисков чрезвычайных ситуаций.

Издание предназначено для инженерно-технических работников МЧС,  
преподавателей и слушателей пожарно-технических образовательных  
организаций, работников научных и проектных учреждений.

УДК 614.8.084(476)082

ББК 68.9(4Бел)я43

ISBN 978-985-7170-12-8 (ч. 1)

ISBN 978-985-7170-14-2

© Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь  
2016

© Оформление. ВЛГУП «Колорград», 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ОЦЕНКА РИСКОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ .....</b>	<b>9</b>
<b>Хязанов И.Р.</b>	
<b>ОСОБЕННОСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ ИЗ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....</b>	<b>9</b>
<b>Лунева Н.К., Езовитова Т.И., Онуфрейчук А.В.</b>	
<b>ИЗУЧЕНИЕ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ИНГИБИТОРА ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ОСНОВЕ ФОСФОР-АЗОТНОГО МАГНИЙСОДЕРЖАЩЕГО МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСА .....</b>	<b>20</b>
<b>Чумаченко С.Н., Троцько В.В.</b>	
<b>ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ТОРФЯНИКАХ КИЕВСКОЙ ОБЛАСТИ И ВЫРАБОТКА ПУТЕЙ ЕГО СНИЖЕНИЯ .....</b>	<b>29</b>
<b>Трофимчук А.Н., Калюх Ю.И., Клименков О.А., Берчун Я.А.</b>	
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ).....</b>	<b>40</b>
<b>Соколик Г.А., Лейнова С.Л., Свирщевский С.Ф., Рубинчик С.Я., Клевченя Д.И.</b>	
<b>ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРЫ .....</b>	<b>56</b>
<b>Антошкин А.А.</b>	
<b>РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ КАК ЗАДАЧ ПОКРЫТИЯ.....</b>	<b>69</b>
<b>Афанасенко К.А.</b>	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ И ИНТЕНСИВНОСТИ КОКСООБРАЗОВАНИЯ НА РАССЛОЕНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР .....</b>	<b>80</b>

**Яровой Е.А.**

**ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕЙ  
НА ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТЬ ПОЛУЧАЕМЫХ ГАЗОВ** ..... 89

**Трегубов Д.Г., Тарахно Е.В.**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКЛОННОСТИ МАТЕРИАЛОВ  
К САМОВОЗГОРАНИЮ С ПОМОЩЬЮ КАЛОРИМЕТРИИ**..... 94

**Коротова К.И.**

**ВЛИЯНИЕ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ  
(НА ПРИМЕРЕ НАВОДНЕНИЯ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ  
ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ ЛЕТОМ 2013 Г.)**..... 104

**Чернуха А.А., Иотов А.П.**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ОГНЕЗАЩИТНОГО  
СРЕДСТВА ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОГНЕЗАЩИЩЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ  
С ПОВЫШЕННОЙ УДАРОПРОЧНОСТЬЮ** ..... 117

**Антронов В.А., Поспелов Б.Б., Рыбка Е.А.**

**СТРУКТУРА И ПАРАМЕТРЫ ОПТИМАЛЬНОГО СЕНСОРА  
ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ  
О ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**..... 122

**Ермакова Е.С.**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ  
ТЕНДЕНЦИЙ УГРОЗ ПРИРОДНОГО  
И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА** ..... 132

**Евдин А.Н., Климаць Р.В., Якименко Е.Ф.**

**СОСТОЯНИЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ И НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ  
БАЗЫ ПО ВОПРОСАМ ПРИМЕНЕНИЯ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО  
ПОДХОДА В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ В УКРАИНЕ  
И ПУТИ ЕЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ** ..... 145

<b>Кицак А.И., Есипович Д.Л., Лущик А.П., Никиточкин Е.Л., Челедюк Е.С.</b> <b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ</b> <b>ТЕПЛОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ</b> <b>ТЕПЛОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА</b> <b>СПРИНКЛЕРНОГО ОРОСИТЕЛЯ.....</b>	<b>157</b>
<b>Кицак А.И., Лущик А.П., Есипович Д.Л., Дробыш Д.В., Волков С.А.</b> <b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ</b> <b>ТУШЕНИЯ ОЧАГОВ ВОЗГОРАНИЯ МОДУЛЯМИ ПОРОШКОВОГО</b> <b>ПОЖАРОТУШЕНИЯ.....</b>	<b>168</b>
<b>Кадол В.Ф., Гайшун В.Е., Косенок Я.А., Тюленкова О.И.</b> <b>КОМПЛЕКСНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ</b> <b>СВЯЗУЮЩЕГО С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ</b> <b>ТЕПЛО- И ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ</b> <b>ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ.....</b>	<b>180</b>
<b>Вяльшев А.И., Долгов А.А., Добров В.М., Большагин А.Ю.</b> <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ</b> <b>НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ТРУБОПРОВОДОВ</b> <b>И ОБОРУДОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ</b> <b>ПО ДАННЫМ ГАММА-ДЕТЕКТОРОВ .....</b>	<b>190</b>
<b>Порошин А.А.</b> <b>МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ИНДЕКСА ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИОННОСТИ</b> <b>ТЕПЛООВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ .....</b>	<b>196</b>
<b>Порошин А.А.</b> <b>МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ ПОЖАРНЫХ ГАЗОВЫХ.....</b>	<b>202</b>
<b>Булова А.Д.</b> <b>УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ</b> <b>В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....</b>	<b>207</b>
<b>Долгов А.А., Пряхин В.Н., Калинин А.О.</b> <b>МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПИРОЛИЗА</b> <b>ТОРФОВ ТРАВЯНО-СФАГНОВОГО ПЕРЕХОДНОГО ТИПА.....</b>	<b>221</b>

УДК 614.8

д-р техн. наук, проф. Андронов В.А.,  
д-р техн. наук, проф. Поспелов Б.Б., канд. техн. наук Рыбка Е.А.  
*Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков*

## СТРУКТУРА И ПАРАМЕТРЫ ОПТИМАЛЬНОГО СЕНСОРА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

На примере тепловых пожарных извещателей проведен сравнительный анализ эффективности существующих тепловых сенсоров и оптимальных сенсоров в различных условиях наблюдения температуры среды при пожаре. Определены структура и параметры оптимального сенсора для измерения опасных факторов чрезвычайных ситуаций.

*Ключевые слова:* тепловой пожарный извещатель, сенсор, пожар, быстроедействие, точность, чрезвычайная ситуация

В последние годы в Украине существует проблема роста числа различных чрезвычайных ситуаций (ЧС), а также объемов наносимых ими ущерба. Одной из главных причин ее существования является низкая эффективность технических систем предупреждения о ЧС. Основными и единственными источниками первичной информации о контролируемых опасных факторах ЧС являются различные типы сенсоров, измеряющие конкретные физические параметры опасных факторов. Понятно, что эффективность технических систем предупреждения будет существенно зависеть от точности информации, выдаваемой сенсором. Поэтому определение структуры и параметров наилучших (оптимальных) в смысле заданных критериев сенсоров является актуальным для гарантированного прогнозирования ЧС.

Улучшению характеристик и идентификации параметров сенсоров, используемых в системах пожаропредупредительной автоматики, посвящены работы [1, 2]. В этих работах исследования выполнены при заданной заранее структуре сенсора – в рамках структурного подхода. Поиск оптимальной структуры сенсора для определения опасных факторов ЧС в виде загорания на объекте не рассматривается. В отличие от структурного подхода неструктурный подход позволяет не только отыскивать оптимальную структуру сенсора среди всех возможных структур для заданных условий наблюдения

ных факторов ЧС, но и оценить его потенциальные (предельные) возможности. Важно, что при этом возможно определить степень совершенства существующих сенсоров и эвристических решений, предлагаемых по их улучшению и модернизации.

Целью работы является определение структуры и параметров минимального сенсора для измерения опасных факторов ЧС, характеризующихся случайным и неизвестным фиксированным уровнем, подаваемым на фоне случайных возмущений.

В качестве простейшей и характерной для наблюдения опасных факторов ЧС будем рассматривать ситуацию, когда контролируемый опасный фактор представляет собой постоянную на интервале наблюдения случайную величину с известной статистикой, подаваемую на фоне мешающих возмущений, описываемых гауссовой статистикой с нулевым средним и равной  $N/2$  спектральной плотностью. Требуется по результатам наблюдения на выходе сенсора получить оптимальную оценку неизвестного случайного уровня опасного фактора ЧС. В качестве критерия оптимальности сенсора будем рассматривать минимум среднеквадратической погрешности измерения уровня опасного фактора на выходе сенсора.

В данной постановке сформулированная выше задача может быть сведена к частной задаче фильтрации процесса, который не изменяется на интервале наблюдения и решена на основе известных методов теории линейной фильтрации. Для ее решения необходимо определить движение состояния и наблюдения [3].

Априорное уравнение состояния, описывающее уровень  $a(t)$  опасного фактора ЧС на интервале наблюдения  $[0, T]$ , определяется в виде:

$$da(t)/dt = 0, \quad a(0) = a_0, \quad (1)$$

где  $a_0$  — гауссова случайная величина с математическим ожиданием  $m_0$  и дисперсией  $D_{a_0}$ , описывающих соответственно средний уровень и дисперсию неизвестного опасного фактора ЧС. С учетом (1) уравнение наблюдения, определяющее наблюдаемый процесс на выходе сенсора, будет определяться равенством

$$y(t) = a(t) + n(t), \quad t \in [0, T], \quad (2)$$

где  $n(t)$  – возмущения, на фоне которых наблюдается опасный фактор, описываемые гауссовой статистикой с нулевым средним и спектральной плотностью  $N/2$ .

Следуя [3], алгоритм оптимальной фильтрации опасного фактора (1) с учетом наблюдения (2) можно представить в виде

$$d\hat{a}(t)/dt = K(t)[y(t) - \hat{a}(t)], \quad (3)$$

где  $\hat{a}(t)$  – оптимальная оценка опасного фактора ЧС, а  $K(t)$  – коэффициент передачи фильтра, определяемый  $K(t) = 2D(t)/N$ , где  $D(t)$  – текущая дисперсия ошибки фильтрации  $\hat{a}(t)$  опасного фактора. В рассматриваемом случае уравнение текущей дисперсии ошибки фильтрации имеет вид

$$dD(t)/dt = -2D^2(t)/N. \quad (4)$$

После несложных преобразований решение уравнения (4) будет описываться функцией

$$D(t) = D_0 N / (N + 2D_0 t). \quad (5)$$

Соотношения (3) и (5) определяют структуру и параметры оптимального сенсора для рассматриваемых условий наблюдения опасного фактора ЧС. Структура оптимального сенсора представлена на рисунке 1.

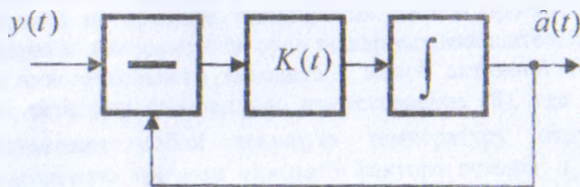


Рисунок 1 – Структурная схема оптимального измерителя уровня опасного фактора ЧС первичного измерителя



Для рассматриваемых условий оптимальный сенсор должен быть нестационарным и следящим. Нестационарный характер сенсора определяется динамикой коэффициента передачи  $K(t)$ , который зависит от времени, спектральной плотности возмущений и дисперсии интегрируемого опасного фактора ЧС. Так, например, если мешающие возмущения отсутствуют, а дисперсия опасного фактора  $D_a$  достаточно велика, то величина  $K(t) = 1/t$  и коэффициент передачи в установившемся режиме при  $t \rightarrow \infty$  стремятся к нулю. Это означает, что оптимальный сенсор как бы постепенно отключается от входных наблюдений, сохраняя на выходе интегратора (рис.1), неизменной величину  $\hat{a}(t)$  измеряемого неизвестного уровня опасного фактора ЧС. При этом дисперсия ошибки измерения опасного фактора, следуя (5), стремится к нулю. Следовательно, с увеличением времени или интервала наблюдения величина  $\hat{a}(t)$  на выходе оптимального сенсора может быть сколь угодно близкой к истинному значению неизвестного измеряемого уровня опасного фактора ЧС.

Кроме структуры оптимального сенсора с обратной связью (рисунком 1) возможна структура сенсора разомкнутого типа. На основании (3) оптимальный сенсор разомкнутого типа может быть представлен уравнением вида

$$d\hat{a}(t)/dt + K(t)\hat{a}(t) = K(t)y(t). \quad (6)$$

Вводя функцию  $\tau_o(t) = 1/K(t)$ , уравнение (6) может быть записано в виде нестационарного дифференциального уравнения

$$\tau_o(t)d\hat{a}(t)/dt + \hat{a}(t) = y(t), \quad (7)$$

описывающего выходной сигнал  $\hat{a}(t)$  низкочастотного фильтра с переменной постоянной времени  $\tau_o(t)$ , на входе которого действует наблюдаемый процесс  $y(t) = a(t) + n(t)$ . Для упрощения реализации оптимального сенсора (7) переменная постоянная времени  $\tau_o(t)$  может быть заменена фиксированной во времени  $\tau(t) = \tau$  постоянной времени.

В этом случае сенсор будет описываться стационарным дифференциальным уравнением

$$\tau d\hat{a}(t)/dt + \hat{a}(t) = y(t). \quad (8)$$

При этом ясно, что оптимальный (нестационарный) сенсор (7) и стационарный сенсор (квазиоптимальный) (8), в котором постоянно во времени фиксирована, будут иметь различные характеристики.

Для сравнения указанных сенсоров определим дисперсию  $D_T$  (9) ошибки на выходе квазиоптимального сенсора. Пусть величина ошибки на выходе квазиоптимального сенсора  $T(t) = a(t) - \hat{a}(t)$ . Вычтем из уравнения (1) уравнение (8), и подставив в него выражение  $y(t)$  из (2), получим дифференциальное уравнение для ошибки измерения

$$\tau dT(t)/dt + T(t) = -n(t). \quad (9)$$

Учитывая, что в правой части (9) процесс является гауссовым с корреляционной функцией  $\delta(t-t_1)N/2$ , для нулевых начальных условий  $D_T(0) = 0$  функция, описывающая изменение дисперсии ошибки (9) во времени будет, определяться

$$D_T(t, \tau) = N(1 - e^{-2t/\tau})/4\tau. \quad (10)$$

Для большей наглядности преимущества использования оптимальных сенсоров в технических системах предупреждения о ЧС выполним на примере технических систем противопожарной защиты объектов и тепловых сенсоров пожарных извещателей, реализованных в виде чувствительного элемента с малой активной поверхностью. Для таких сенсоров справедливо представление (8), где наблюдения  $y(t)$  представляют собой текущую температуру окружающей среды, определяемую уровнем опасного фактора пожара  $a_0 = \lambda_0$  (статическая температура срабатывания извещателя) и фоновыми возмущениями температуры, обусловленными условиями применения извещателя. В соответствии с EN 54 для постоянных времени  $\tau$  сенсоров тепловых извещателей определены значения, равные  $\tau 1 = 20\text{с}$  и  $\tau 2 = 60\text{с}$ .

Зависимости дисперсии ошибок  $D_T(t, \tau)$  и  $D(t)$  измерения фактора пожара на выходе квазиоптимального и оптимального сенсора от нормированного времени  $t/\tau$  для условий наблюдения пожара, определяемых  $q = D_a/N$ , представлены на рисунке 2. Из анализа представленных зависимостей следует, что в рассматриваемых условиях пожара квазиоптимальные сенсоры существующих тепловых плавчателей на интервалах времени наблюдения, превышающих  $(3-10)\tau$ , существенно проигрывают оптимальному сенсору. При этом близкие значения дисперсии ошибки имеют место в моменты времени  $t_1 \approx 2\tau_1$  и  $t_2 \approx 6\tau_2$  для соответствующих сенсоров. С ростом отношения  $q = D_a/N$  эффективность оптимальных сенсоров по сравнению с квазиоптимальными становится еще существенней.

Применение квазиоптимальных сенсоров приводит к снижению быстродействия и увеличению длительности переходного процесса, а также появлению отличной от нуля дисперсии ошибки в установившемся режиме, величина которых обратно пропорциональна отношению  $q = D_a/N$ , характеризующему условия наблюдения возгорания на объекте.

Сигналы на выходе оптимального теплового сенсора  $\beta_k = \hat{\alpha}l(g\Delta t)$  и квазиоптимального теплового сенсора  $a_k = a(g\Delta t)$  (при заданных в EN 54 значениях  $\tau_1 = 20\text{c}$  и  $\tau_2 = 60\text{c}$ ) иллюстрируются на рисунках 3, 4 соответственно.

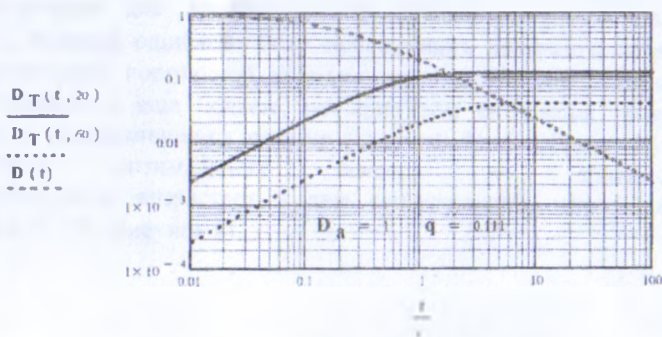


Рисунок 2 – Зависимости дисперсий ошибки для квазиоптимального и оптимального сенсора

На рисунках 3, 4 введены обозначения для случайного уровня опасного фактора пожара в виде случайного скачка приращения температуры среды  $a_0 = \lambda_0$ , выходного сигнала квазиоптимального сенсора  $a_x = a(g\Delta t)$  и выходного сигнала оптимального сенсора  $al_x = \hat{a}l(g\Delta t)$ . При этом  $a_0 = al_0 = 2$ , а  $g = 1, 2, 3, \dots$  и  $\Delta t = 0, 1$  определяют номер шага и интервал времени между соседними шагами соответственно.

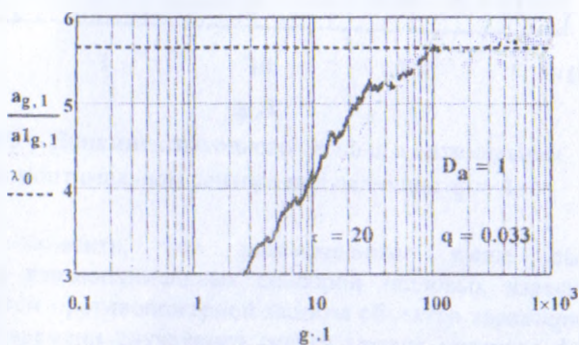


Рисунок 3 – Динамика выходного сигнала в оптимальном и квазиоптимальном сенсоре при величине постоянной времени 20 с

Из анализа приведенных зависимостей следует, что на выходе квазиоптимальных сенсоров в условиях значительных возмущений температуры среды имеет место переходный процесс, который заканчивается в течение времени, приблизительно равного пяти постоянным времени соответствующего теплового сенсора. При этом переходный режим сопровождается ростом флуктуаций выходного сигнала сенсора до уровня, соответствующего установившемуся состоянию. В оптимальном сенсоре переходный процесс происходит незначительно быстрее и со значительно меньшим уровнем флуктуаций в установившемся режиме по сравнению с установившимся режимом для квазиоптимального сенсора.

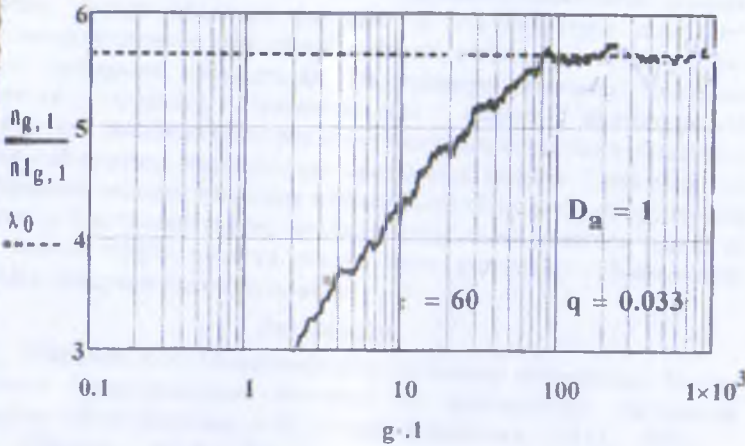


Рисунок 4 – Динамика выходного сигнала в оптимальном и квазиоптимальном сенсоре при величине постоянной времени 60 с

В отличие от квазиоптимального в оптимальном сенсоре флуктуации выходного сигнала в установившемся режиме стремятся к нулю, обеспечивая для времени  $t \rightarrow \infty$  потенциальную точность измерения с нулевой ошибкой. Если использовать квазиоптимальный сенсор с величиной постоянной времени, равной 60с, то выходной процесс затягивается еще больше, но при этом снижается уровень флуктуаций в установившемся режиме (рисунок 4). В общем случае быстродействие оптимального сенсора по сравнению с квазиоптимальным возрастает и тем существенней, чем больше величина  $q = D_a / N$  (рисунок 5).

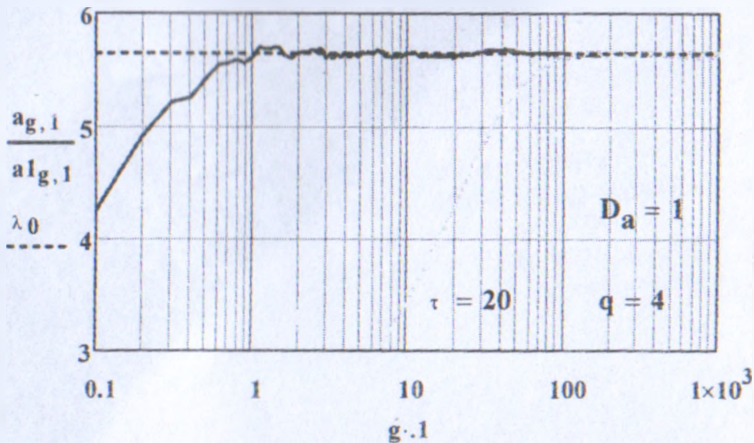


Рисунок 5 – Динамика выходного сигнала в оптимальном и квазиоптимальном сенсоре при величине  $q = 4$

Следует заметить, что рассмотренные выше свойства оптимального и квазиоптимальных сенсоров тепловых извещателей технических систем противопожарной защиты объектов характерны для постоянного во времени случайного скачка уровня опасного фактора пожара (ЧС). Поэтому распространить эти результаты на случай произвольных изменений уровня опасного фактора ЧС не представляется возможным. В этом направлении необходимо проведение дополнительных исследований, основы которого рассмотрены выше.

В рамках неструктурного подхода определены структура и параметры оптимального сенсора для измерения опасных факторов ЧС, характеризуемых случайным и неизвестным фиксированным уровнем, наблюдаемым на фоне гауссовых возмущений с нулевым средним и заданной спектральной плотностью. Показано, что оптимальный сенсор для технических систем гарантированного предупреждения о ЧС должен быть следящим, но может быть реализован в виде эквивалентной структуры сенсора разомкнутого типа с переменными во времени параметрами. В качестве примера рассмотрены квазиоптимальные сенсоры систем противопожарной

ности объектов, для которых величина постоянной времени фиксируется во времени. Установлено, что квазиоптимальные сенсоры случайного уровня опасного фактора ЧС по структуре совпадают с известными тепловыми сенсорами, которые, например, используются в тепловых пожарных извещателях. На примере тепловых пожарных извещателей проведен сравнительный анализ эффективности существующих тепловых сенсоров и оптимальных сенсоров в различных условиях наблюдения температуры среды при пожаре. Показано, что существующие сенсоры тепловых извещателей обладают недостаточной точностью и быстродействием, которые могут быть являться одной из причин низкой эффективности систем автоматического обнаружения загораний и предупреждения о пожаре.

#### Литература

1. Шаровар, Ф.И. Пожаропредупредительная автоматика: Теория и практика предотвращения пожаров от маломощных загораний. Монография. / Ф.И. Шаровар. – М.: Специнформатика, – 2013. – 556 с.
2. Абрамов, Ю.А. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь. – Харьков: АГЗУ, 2005. – 121 с.
3. Тихонов, В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

