

РЕФЕРАТ

Заявка 21 с., 9 рис., 5 табл., 13 источников.

ЭНДОГЕННЫЙ ПОЖАР, ЭКЗОГЕННЫЙ ПОЖАР, ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР, ОЧАГ ПОЖАРА, СПЕКТРАЛЬНАЯ ПИРОМЕТРИЯ, ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.

В ходе выполнения работ по конкурсу научных и дипломных работ «технология тушения эндогенных пожаров», проведено:

1. Исследование спектральных диапазонов для определения исходных данных для проектирования оптико-электронного прибора. В результате исследования выявлены следующие исходные данные для компьютерной модели прибора: спектральные характеристики излучения тестовых очагов, температуры тестовых очагов пожара, К: ТП-1 – 1570; ТП-2 – 873; ТП-3 – 1024; ТП-4 – 1500; ТП-5 – 1630; ТП-6 – 1476; диаметр входного зрачка оптической системы: 3,5 мм; расстояние до источника излучения очага: 10 м; коэффициент пропускания оптической системы 0,6; диапазон длин волн (1200 – 4800 нм); площади тестовых очагов пожара, м² : ТП-1 – 0,25; ТП-2 – 0,7; ТП-3 – 2,5; ТП-4 – 0,25; ТП-5 – 0,11; ТП-6 – 0,19.

2. Разработана модель оптико-электронного прибора обнаружения пожара.

3. Проведено исследование спектральных диапазонов контроля излучения пожара оптико-электронным прибором (1800-1900-2000-3000-3400-3550 нм) и выбрана элементная база оптико-электронного прибора (PD-24-10-PR и PD-38).

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (контракт № 12961ГУ/2018 от 04.05.2018).

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ	5
1 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА НА БАЗЕ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПИРОМЕТРИИ	8
2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПРИБОРА	8
3 ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ КОНТРОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ОЧАГА ПОЖАРА	11
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА	13
4.1 Выбор фотоприемников.....	13
4.2 Расчет поправочных коэффициентов для компьютерной модели оптико- электронного прибора.....	14
5 ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ КОНТРОЛЯ И ИХ КОЛИЧЕСТВА.....	16
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	20

ВВЕДЕНИЕ

Повышение уровня пожаровзрывобезопасности на различных объектах экономики (в том числе угольных шахтах и разрезах) обеспечивается системами противопожарной защиты. Совершенствование противопожарных систем направлено на повышение эффективности их работы, достоверности обнаружения очагов пожаров на ранней стадии развития. Основным элементом противопожарных систем являются извещатели (приборы) контролируемые различными физическими явлениями сопровождающие пожары. Одним из наиболее часто контролируемых явлений является возникновение теплового излучения при горении и тлении различных материалов, наличие которого определяется извещателями пламени (оптико-электронными датчиками) [1, 3-7].

В выработках угольных шахт, разрезах существует экзогенная пожароопасность, которая характеризуется высокой скоростью возникновения и протекания пожара. Так же существует эндогенная пожароопасность характеризующаяся медленным процессом самовозгорания угольной породы, который происходит при химической активности окисляющегося материала и выделения газов из угольной массы. В процессе развития эндогенного пожара, кроме изменения температуры в очаге пожара, происходят существенные изменения состава воздуха аварийного участка: уменьшается содержание кислорода, увеличивается выделение оксидов углерода, водорода, предельных и непредельных углеводородов, содержание которых значительно превышает фоновые значения. Признаком самонагревания угля на контролируемом участке является устойчивое превышение объемной доли CO и H₂. Из-за выделения большого числа газов при самонагревании угольной породы требуется использовать несколько датчиков которые могли бы обнаружить выделение этих газов. Обнаружение и определение местоположения очагов эндогенных пожаров по инфракрасному излучению нагретых поверхностей горных выработок определяется с использованием пирометров и тепловизоров.

В рассматриваемом исследовании для обнаружения эндогенных и экзогенных пожаров предлагается использовать оптико-электронный прибор обнаружения пожара на базе метода спектральной пирометрии, позволяющий определить температуру очага пожара.

Применение известных пирометров и тепловизоров ограничено отсутствием или неполнотой информации о излучательной способности очагов пожара, что приводит к существенному увеличению погрешности определения температуры.

Совершенствование оптико-электронных приборов может выполняться за счет их построения на базе модифицированного метода спектральной пирометрии, позволяющего определить температуру в отсутствии данных о коэффициенте излучения объекта. Это

обуславливается наличием горючих материалов с неизвестными излучательными свойствами [2].

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ

В процессе добычи (ведения горных работ) и при определенных условиях хранения (складирования) и транспортировке самовозгораются торфы, бурые и каменные угли, антрациты, горючие сланцы, углисто-глинистые породы, сернистые (сульфидные) руды [11].

Самовозгорание угля происходит из-за процесса его окисления с выделением тепла и горючих газов. Самовозгорается отбитый уголь и уголь в обнажениях массива. Важнейшими горно-геологическими факторами, влияющими на эндогенную пожароопасность шахт, являются: мощность пласта; угол залегания; сближенность пластов; тектоническая нарушенность; характер вмещающих пород; глубина залегания; петрографический, химический состав пласта [10, 11].

Имели место случаи самовозгорания угля как в погашенных, так и действующих подготовительных выработках. В действующих подготовительных выработках самовозгораются горная масса и уголь в обнажениях пластов, в том числе на участках без видимых геологических нарушений. Нередки случаи самовозгорания угля в охранных целиках над откаточными штреками при очистных работах на крутопадающих пластах [12].

Главными горнотехническими факторами, влияющими на эндогенную пожароопасность, являются: способ вскрытия шахтного поля; способ подготовки выемочных полей и блоков; система ведения очистных работ; система и режим вентиляции [12].

Контроль за самонагреванием угля осуществляется по устойчивому повышению объемной доли оксида углерода и водорода, относительно фоновых в горной выработке. При этом на стадии самонагревания отношение долей CO к H₂ превышает 10, а на стадии горения – менее 10. Для определения микродолей оксида углерода применяются аппаратура непрерывного контроля «Сигма-CO-B», газоопределители химические ГХ-4, а также, в том числе и для определения доли водорода, газоанализатор хроматографический «Эндотестер».

Ориентировочное месторасположение очага эндогенного пожара может быть обнаружено по аномальному изменению инфракрасного излучения поверхности горных выработок с помощью пирометров. Выявление аномальных мест нагревания производят по результатам измерения температуры через каждый метр выработки путем составления тепловых карт, которые отражают распределение температуры вдоль поверхности горной выработки. Как правило, наиболее нагретое место характеризует направление на скрытый очаг пожара [12].

Используемые пирометры и их аналоги имеют существенный недостаток – резкое возрастание погрешности определения температуры при неизвестной излучательной способности объекта.

Обнаружение экзогенных пожаров должно осуществляться за значительно более короткий промежуток времени (10-20 мин) по сравнению с эндогенными пожарами с минимальной вероятностью ложного обнаружения [13]. Физико-химические процессы горения, происходящие при экзогенных подземных пожарах, сходны с этими процессами при пожарах в зданиях и сооружениях поверхностного комплекса.

В настоящее время получили практическое применение следующие способы обнаружения экзогенных пожаров: по наличию дыма, пламени, содержанию СО и нагреванию воздуха в шахтной вентиляционной сети.

Для обнаружения пожара используются соответствующие извещатели (датчики) информация от которых передается непосредственно горному диспетчеру.

Разрабатываемый прибор предназначен для обнаружения эндогенных и экзогенных типов пожара на ранних этапах его развития. Прибор позволяет обнаружить различные типы пожаров – пламенное горение и тление различных горючих материалов – древесина, ткани, легковоспламеняющиеся жидкости, горючие газы, пыль и т.д. Прибор регистрирует инфракрасное излучение продуктов горения, нагретых поверхностей и сигнализирует о наличии пожара. Прибор может использоваться для обнаружения пожара на потенциально опасных по пожару и взрыву производствах, складских помещениях, горных выработках, угольных разрезах, помещениях с высоким риском воспламенения горючих веществ.

За счет применения метода спектральной пирометрии, разрабатываемый прибор имеет следующие преимущества: высокое быстродействие; большее число обнаруживаемых типов пожара по сравнению с аналогами; устойчивость к оптическим помехам.

Научная новизна разрабатываемого прибора заключается в следующем:

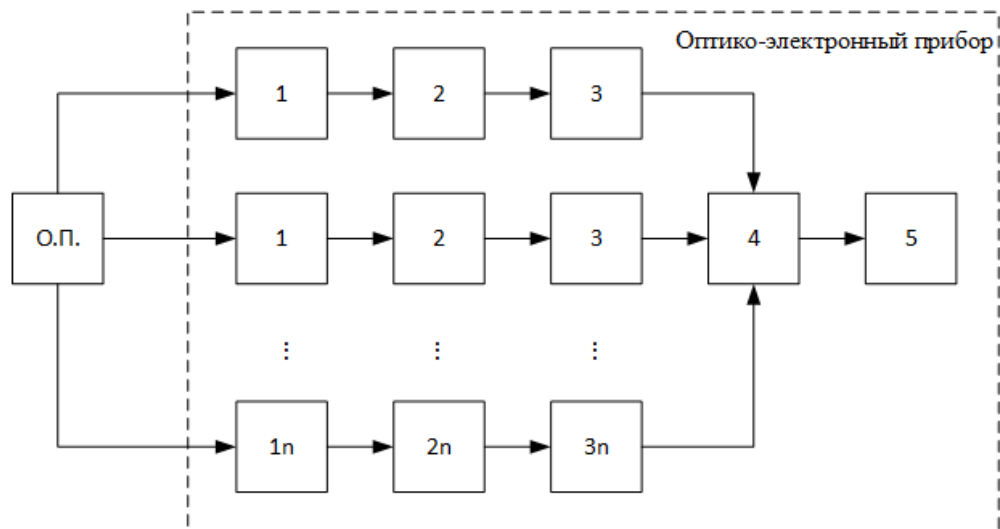
– прибор основан на принципиально новом методе обнаружения пожаров – метод спектральной пирометрии, позволяющем определять температуру по тепловому излучению объектов при неизвестной излучательной способности. В результате, возможно, определять большее число эндогенных и экзогенных пожаров по сравнению с аналогичными приборами с более высокой точностью определения температуры, что позволяет произвести эффективное тушение пожара и свести материальные потери к минимуму;

– бесконтактный оптический метод контроля температуры на базе спектральной пирометрии позволяет обнаружить пожар на ранних стадиях с высоким быстродействием. Быстродействие прибора позволяет контролировать взрывное горение газов на начальной стадии;

– метод спектральной пирометрии позволит обеспечить помехоустойчивость прибора к оптическим помехам в виде излучения источников естественного и искусственного освещения.

1 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА НА БАЗЕ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПИРОМЕТРИИ

Структурная схема разрабатываемого оптико-электронного прибора обнаружения пожара на базе метода спектральной пирометрии представлена на рисунке 1.



О.П. – очаг пожара; 1 – линзы; 2 – светофильтры; 3 – фотоприемники; 4 – блок управления;
5 – выходной блок; n – количество каналов

Рисунок 1 – Структурная схема оптико-электронного прибора

Оптико-электронный прибор содержит n каналов, каждый из которых включает линзу, светофильтр и фотоприемник. В приборе световой поток от очага пожара и других источников оптического излучения, с помощью линз фокусируется на фотоприёмниках с установленными на них светофильтрами с различными спектральными диапазонами пропускания. Выходной сигнал каждого из фотоприёмников приходит на соответствующий вход блока управления. В данном блоке сигналы с фотоприемников усиливаются и оцифровываются. В результате обработки оцифрованных сигналов в блоке управления определяется значение температуры по методу спектральной пирометрии. По полученным данным о температуре принимается решение, о наличии пожара и осуществляется сигнализация о нем с помощью выходного блока.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПРИБОРА

В результате анализа литературных источников [1, 2, 6] и материально-технической базы сформулированы исходные данные для компьютерной модели быстродействующего

оптико-электронного прибора обнаружения пожара на базе спектральной пирометрии (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные для компьютерной модели прибора

Параметр	Значение
Параметры оптико-электронного прибора	
Диаметр входного зрачка оптической системы, D _{ос}	3,5 мм
Расстояние до источника излучения очага, l _{оч}	10 м
Коэффициент пропускания оптической системы	0,6
Начальная длина волны, λ _{нач}	1200 нм
Конечная длина волны, λ _{кон}	4800 нм
Площадь и температура тестовых очагов ТП-1-6	
ТП-1	0,25 м ² ; 1570 К
ТП-2	0,7 м ² ; 873 К
ТП-3	2,5 м ² ; 1024 К
ТП-4	0,25 м ² ; 1500 К
ТП-5	0,11 м ² ; 1630 К
ТП-6	0,19 м ² ; 1476 К

Исходными данными для проведения исследования по определению спектральных диапазонов контроля излучения очагов пожара являются экспериментальные спектры излучения тестовых очагов пожара (спектральная яркость $L(\lambda)$). Выбор в качестве контролируемых объектов тестовых очагов пожара по ГОСТ 53325-2012 обусловлен, тем, что совокупность стандартных тестовых очагов может охарактеризовать по типу горения основные виды горючих материалов.

Аналитические зависимости для компьютерной модели формулировались с учетом принципа построения оптико-электронного прибора.

В работе [7] приводится зависимость (1) для расчета спектрального потока источника излучения на фотоприёмнике оптической системы для отдельного канала прибора:

$$\Delta\Phi_{оч}(\lambda) = \frac{D_{ос}^2 \Delta A_{оч}}{4l_{оч}^2} \tau_o(\lambda) M_e(T, \lambda), \quad (1)$$

где T – температура источника излучения, К; λ – длина волны, м; D_{ос} – диаметр входного зрачка оптической системы, м; ΔA_{оч} – видимая площадь источника излучения, м²; l_{оч} – расстояние до источника излучения, м; τ_o(λ) – коэффициент пропускания оптической системы; M_e(T,λ) – спектральная энергетическая светимость источника излучения (Вт/м²).

При построении компьютерной модели прибора в качестве источника излучения выступало абсолютно черное тело либо отдельный тестовый очаг пожара.

Для тестовых очагов пожара спектральная энергетическая светимость рассчитывалась с учетом допущения, что источник излучения является косинусным (Ламбертовским):

$$M_e(T, \lambda) = \pi L_e(T, \lambda). \quad (2)$$

Выходной сигнал (фототок) фотоприемника определяется формулой (3):

$$I(\lambda_i) = \int_{\lambda_i - \frac{\Delta\lambda_i}{2}}^{\lambda_i + \frac{\Delta\lambda_i}{2}} S_i(\lambda) \Delta\Phi_e(\lambda) d\lambda, \quad (3)$$

где $S_i(\lambda)$ – спектральная токовая чувствительность фотоприёмника канала i ; λ_i – центральная длина волны фильтра в канале i , м; $\Delta\lambda_i/2$ – полуширина пропускания фильтра в канале i ; $\Delta\Phi_e(\lambda)$ – спектральный поток излучения, приходящий на фотоприёмник, определяемый по выражению (1) [9].

В модели работы прибора зависимость (4) для области Вина используется для определения температуры очага пожара по выходным сигналам фотоприёмников (значениям фототока) соответствующих значениям центральных длин волн светофильтров:

$$\ln(\lambda^5 I(\lambda_i)) - \ln(\varepsilon C_1) = -\frac{C_2}{\lambda_i T}. \quad (4)$$

т.е. описывает прямую $y = k \cdot x + b$, в координатах $x = C_2 / \lambda_i$ и $y = \ln(\lambda^5 I(\lambda_i))$. Температура определяется, как: $T=1/k$ [2].

Компьютерная модель была разработана в среде разработки RAD Studio Community Edition фирмы Embarcadero Technologies, работающая под Microsoft Windows на языке Object Pascal. Интерфейс компьютерной модели прибора представлен на рисунке 2.

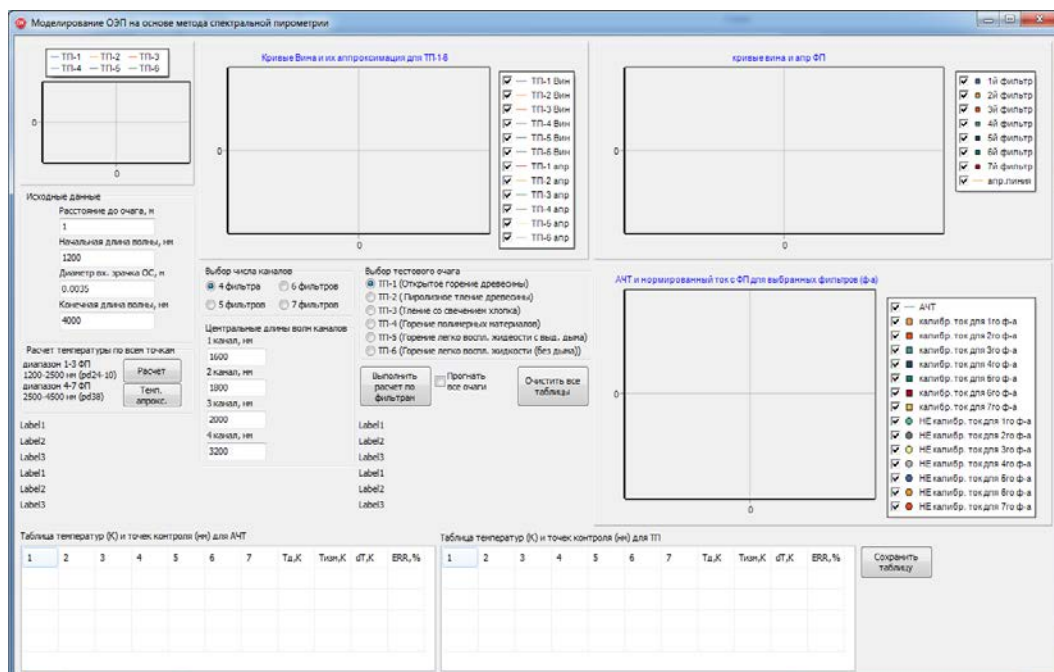


Рисунок 2 – Интерфейс компьютерной модели опико-электронного прибора

Компьютерная модель позволяет получить значения сигналов на каждом из каналов прибора при различных спектральных диапазонах контроля, осуществить выбор фотоприёмников для построения прибора.

3 ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ КОНТРОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ОЧАГА ПОЖАРА

На данном этапе выполнялось предварительное определение спектральных диапазонов с помощью компьютерной модели прибора по данным о спектральной яркости очагов пожара. В результате определены спектральные диапазоны, в которых было проведено исследование по определению минимального количества точек контроля прибора. Точки контроля представляют собой каналы прибора с ограниченными спектральными диапазонами, определяемыми шириной пропускания светофильтра (100 нм).

В результате выполнения начального этапа исследования были построены спектральные характеристики излучения тестовых очагов в координатах Вина, а также была проведена аппроксимация характеристик линейной функцией методом наименьших квадратов (рисунок 3-5).

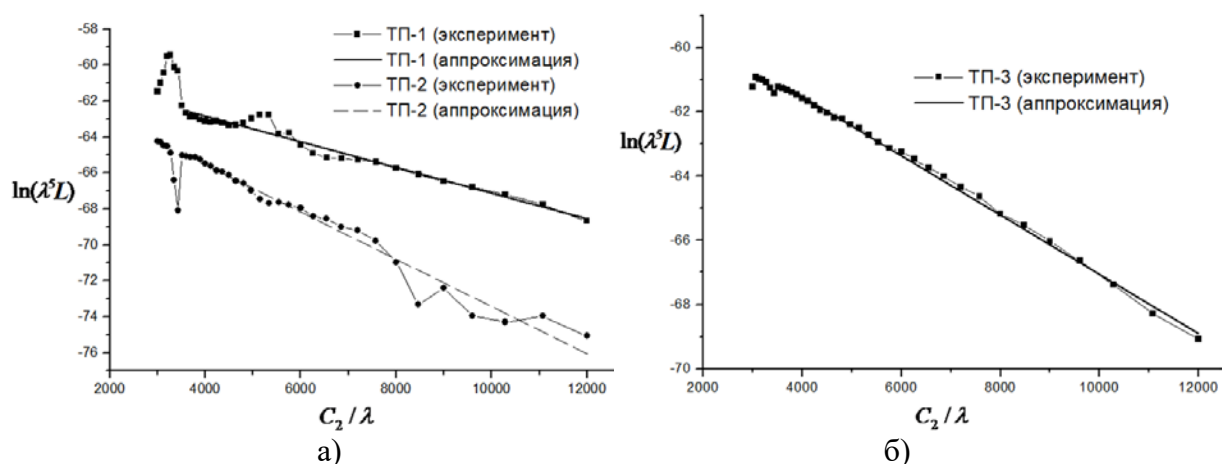


Рисунок 3 – Экспериментальная спектральная яркость ТП-1-2 (а), ТП-3 (б) в координатах Вина

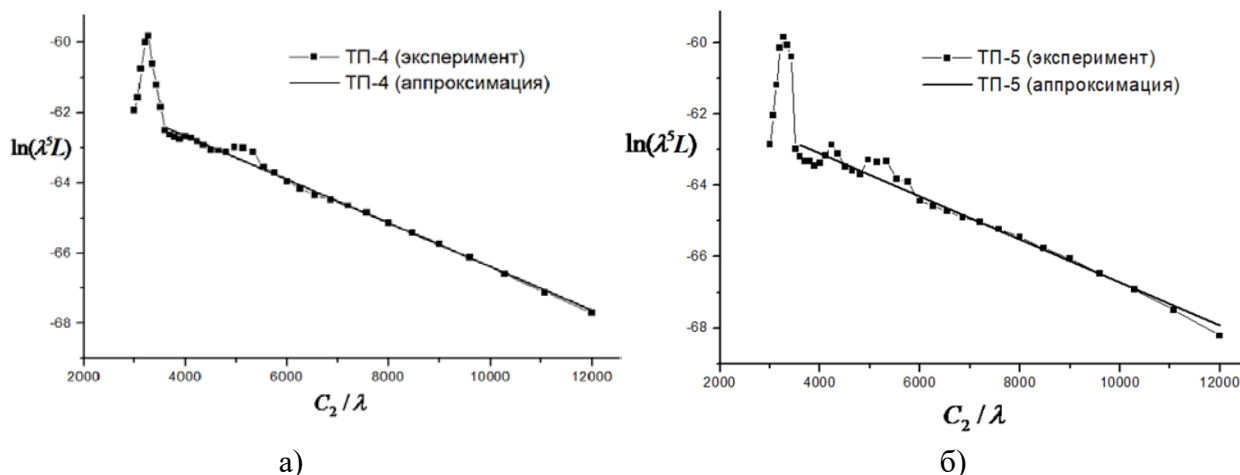


Рисунок 4 – Экспериментальная спектральная яркость ТП-4 (а), ТП-5 (б) в координатах Вина

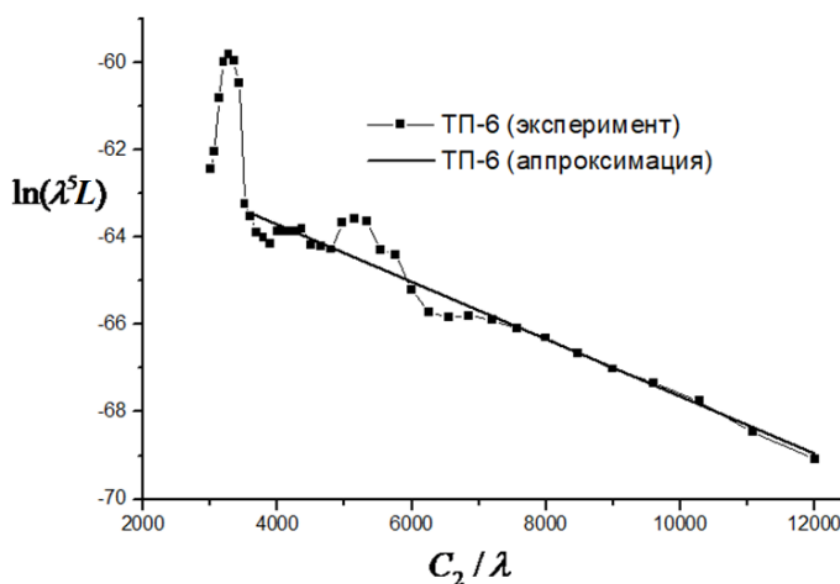


Рисунок 5 – Экспериментальная спектральная яркость ТП-6 в координатах Вина

Из рисунков 3-5 видно, что наилучшее соответствие спектральных характеристик излучения в координатах Вина с линейными функциями наблюдается на непрерывных участках соответствующих излучению частиц сажи и тлеющих поверхностей.

Далее на основе значений углов наклона к линейным функциям рассчитаны температуры очагов тестовых очагов пожара $T_{рас}$ (таблица 2) и оценена абсолютная ΔT и относительная погрешность δ расчета температуры (формула (5)).

$$\delta = \frac{|T_{рас} - T_{Д}|}{T_{Д}} \cdot 100\% . \quad (5)$$

Установлено, что относительная погрешность определения температуры очагов не превышает 6%.

Таблица 2 – Результаты расчета температуры тестовых очагов пожара

Обозначение тестового очага пожара	T_d , К	$T_{рас}$, К	ΔT , К	δ , %
ТП-1	1570	1500	70	4,46
ТП-2	873	820	53	6
ТП-3	1024	1000	24	2,34
ТП-4	1500	1595	95	6
ТП-5	1630	1660	30	1,84
ТП-6	1476	1500	24	1,63

На основе спектральных характеристик излучения очагов в координатах Вина определены спектральные диапазоны контроля излучения тестовых очагов пожара: 1 – в диапазоне 1200 – 1900 нм, 2 – в диапазоне 2100 – 2400 нм, 3 – в диапазоне 3000 – 4000 нм.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА

Исходя из подхода к реализации быстродействующего прибора, в результате использования модели прибора выделено в широких диапазонах контроля небольшое (ограниченное) количество точек контроля (каналов прибора) в узких спектральных диапазонах (100 нм), которого необходимо и достаточно для обнаружения пожаров с относительной погрешностью определения температуры, не превышающей требуемую – 10% [1].

4.1 Выбор фотоприемников

На основе полученных ранее широких спектральных диапазонов был осуществлен выбор необходимых фотоприемников [8, 9] (таблица 3).

Таблица 3 – Параметры фотоприемников

Название фотоприемника	Спектральный максимум, нм	Спектральный диапазон, нм
PD-24-10-PR	2240	1200 – 2400
PD-38	3400	2500 – 4500

Данные фотоприемники имеют достаточно широкие спектральные диапазоны, в которых определены точки контроля прибора. На рисунках 6 и 7 представлены графики спектральной чувствительности выбранных фотоприемников.

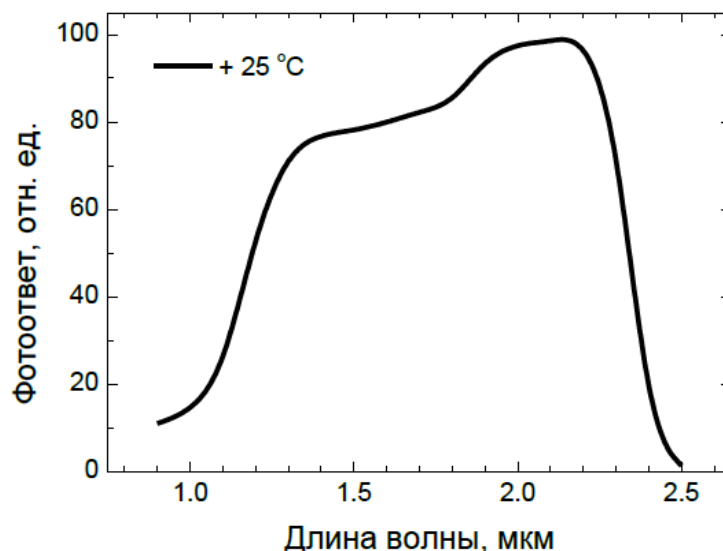


Рисунок 6 – Спектральная чувствительность фотоприемника PD-24-10-PR

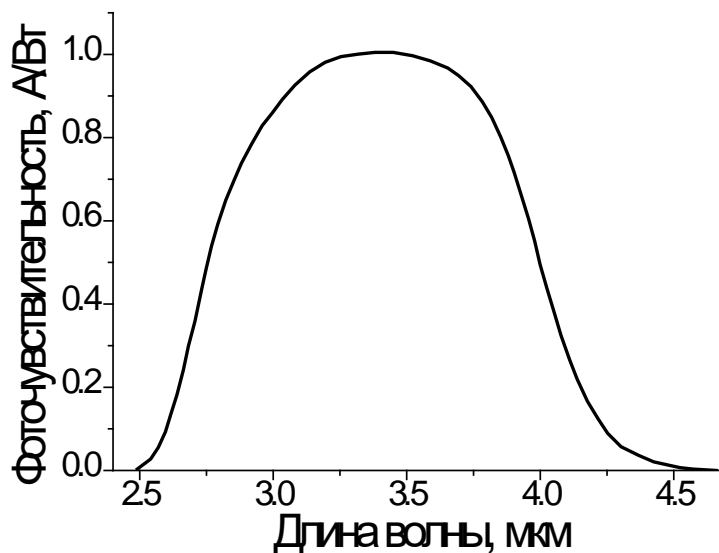


Рисунок 7 – Спектральная чувствительность фотоприемника PD-38

Данные характеристики фотоприемников использовались в компьютерной модели оптико-электронного прибора.

4.2 Расчет поправочных коэффициентов для компьютерной модели оптико-электронного прибора

Первым этапом при моделировании прибора выполнялась процедура расчета поправочных коэффициентов прибора с использованием источника излучения в виде абсолютно черного тела с температурой близкой к температуре тестовых очагов пожара 1500 К. Процедура расчета поправочных коэффициентов заключалась в коррекции спектра

излучения, регистрируемого каналами прибора с целью учета изменения чувствительности фотоприёмников по длине волны.

В таблице 4, в качестве примера, представлены значения поправочных коэффициентов $K(\lambda_i)$, фототока до ($I_n(\lambda_i)$) и после введения поправочных коэффициентов ($I_k(\lambda_i)$) для 4 каналов прибора.

Таблица 4 – Значения поправочных коэффициентов и фототоков

Номер канала	Длина волны λ_i , нм	Поправочный коэффициент, $K(\lambda_i)$	Фототок $I_n(\lambda_i)$, отн. ед.	Фототок $I_k(\lambda_i)$ с погр. коэф., отн. ед.
1	1600	1,21	0,77	0,93
2	1800	1,14	0,93	1,06
3	2000	0,99	1	0,99
4	3200	0,98	0,67	0,66

На рисунке 8 представлен график токов до и после введения поправочных коэффициентов при использовании 4 каналов.

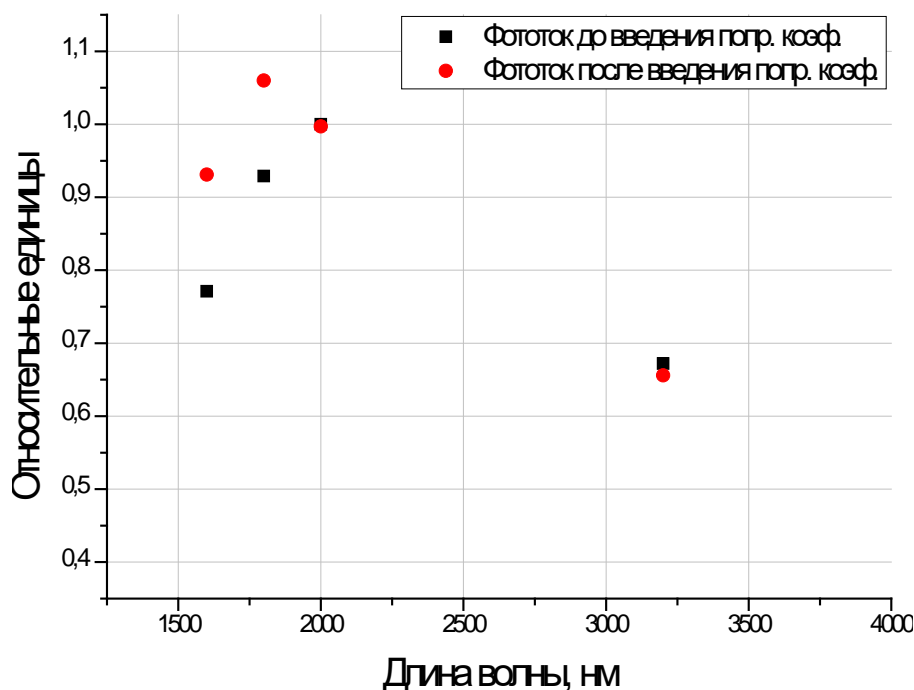


Рисунок 8 – Значения фототока отдельных каналов прибора

После введения поправочных коэффициентов форма кривой, построенной по значениям фототока (рисунок 8) становится подобной форме Планковского спектра, что позволило использовать значения фототока для определения температуры методом спектральной пирометрии по формуле (4).

5 ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ КОНТРОЛЯ И ИХ КОЛИЧЕСТВА

Особенностью метода спектральной пирометрии является низкое быстродействие, обусловленное необходимостью регистрации излучения в широком спектральном диапазоне с малым шагом по длине волны. Чтобы повысить быстродействие метода при его реализации в оптико-электронном приборе, использовалось небольшое количество спектральных диапазонов контроля (точек контроля). Предполагаемое число точек контроля лежало в диапазоне от 4 до 7 штук. Для точного определения числа точек контроля было проведено исследование в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Задается начальное число точек контроля $N=4$.

2. Задаются начальные значения длин волн для каждой точки контроля из диапазона.

При этом в каждом из выбранных диапазонов (1200 – 1900 нм, 2100 – 2400 нм, 3000 – 4000 нм) задается не менее одной точки контроля, а значения центральных длин волн не равны $\lambda_i \neq \lambda_{i+1} \neq \dots \lambda_N$.

3. Выполняется процедура расчета поправочных коэффициентов моделируемого прибора по спектру АЧТ для выбранного числа точек контроля.

4. На основе метода последовательного перебора вариантов изменяется значение длины волны каждой точки контроля с шагом 50 нм, при условии $\lambda_i \neq \lambda_{i+1} \neq \dots \lambda_N$, и определяется набор возможных вариантов значений длин волн.

5. В разработанной компьютерной модели прибора выполняется расчет температуры, по всем тестовым очагам пожара для набора возможных вариантов значений длин волн, используя метод спектральной пирометрии.

6. Находится оптимальный вариант (совокупность значений длин волн), соответствующий минимуму значения средней относительной погрешности определения температуры по всем тестовым очагам пожара.

7. Если среднее значение относительной погрешности превышает требуемое ($\delta > 10\%$) для выбранного оптимального варианта значений длин волн точек контроля, то увеличивается число точек контроля и пункты 2-7 выполняются заново.

8. Если среднее значение относительной погрешности расчета температуры по всем тестовым очагам пожара менее 10% для оптимального варианта, то значения диапазонов контроля и числа точек контроля сохраняются. Эти данные будут использоваться при реализации прибора.

Алгоритм определения спектральных диапазонов контроля и их количества представлен в виде блок-схемы на рисунке 9.

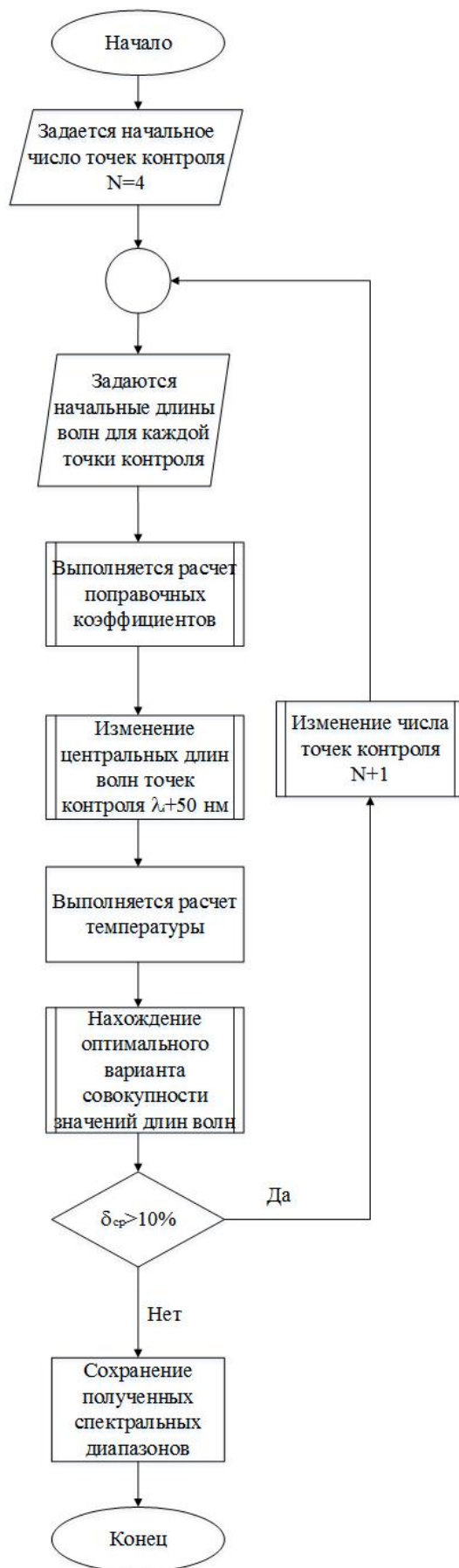


Рисунок 9 – Алгоритм последовательного перебора определения спектральных диапазонов точек контроля моделируемого прибора и их количества

На основе предложенного алгоритма проведено исследование в результате, которого определены значения центральных длин волн светофильтров λ_i , определяющие спектральные диапазоны $\lambda_i \pm 50$ нм (точки контроля) и их количество (таблица 5). В результате исследования выявлено, что с увеличением числа точек контроля средняя относительная погрешность расчета температуры по тестовым очагам снижается. Использование 4-х и 5-ти точек контроля недостаточно для определения температуры по всем очагам пожара с заданной погрешностью. Максимальная относительная погрешность установилась на уровне не более 10% при использовании 6 точек контроля. Использование 7 точек контроля не позволило существенно снизить значения относительной погрешности определения температуры, но привело к усложнению конструкции прибора и увеличению времени его срабатывания.

Таблица 5 – Набор точек контроля для определения температуры

λ_i , нм	Число точек контроля							Относительная погрешность определения температуры δ , %						
	1	2	3	4	5.	6	7	ТП-1	ТП-2	ТП-3	ТП-4	ТП-5	ТП-6	$\delta_{ср}$
1 вар.	1800	1900	2200	3400	–	–	–	4,4	26,4	5,4	7,1	6,6	6,4	9,3
2 вар.	1800	2000	2200	3300	3600	–	–	7,4	12	11	8,6	5,1	3,1	7,8
3 вар.	1800	1900	2000	3200	3400	3550	–	6,6	9,3	11,4	9,4	0,75	5,2	7,1
4 вар.	1800	2000	2200	3400	3500	3600	–	8,9	10,6	10,8	6,9	0,6	2,7	6,7
5 вар.	1800	1900	2000	3000	3400	3550	–	9,8	8,9	10	7,1	0,1	2,8	6,4
6 вар.	1800	1900	2000	3000	3250	3600	–	9,3	9,4	10,9	8,7	8	4,3	8,4
7 вар.	1800	1950	2050	3000	3500	3600	–	9,1	9,6	10	6,8	7	4,6	7,8
8 вар.	1800	1950	2000	3000	3200	3450	3500	9,7	8,3	10	7,9	0,3	3,3	6,5

Как видно из таблицы 5, варианты под номерами 5 и 7 расстановки точек контроля для определения температуры тестовых очагов пожара имеют максимальную погрешность определения температуры 10%. Однако у варианта №5 расстановка точек контроля обеспечивает наилучшие показатели средней относительной погрешности, чем вариант №7. Для обнаружения пожара будет использоваться набор точек №5, так как он обеспечивает наименьшую относительную погрешность определения температуры очага пожара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы проведено исследование спектральных диапазонов для определения исходных данных для проектирования оптико-электронного прибора на базе метода спектральной пирометрии, разработана модель оптико-электронного прибора обнаружения пожара, проведено исследование спектральных диапазонов контроля излучения пожара оптико-электронным прибором, в том числе:

1. Выявлены следующие исходные данные: спектральные характеристики излучения тестовых очагов, температуры тестовых очагов пожара, К: ТП-1 – 1570; ТП-2 – 873; ТП-3 – 1024; ТП-4 – 1500; ТП-5 – 1630; ТП-6 – 1476; диаметр входного зрачка оптической системы: 3,5 мм; расстояние до источника излучения очага: 10 м; коэффициент пропускания оптической системы 0,6; диапазон длин волн (1200 – 4800 нм); площади тестовых очагов пожара, м²: ТП-1 – 0,25; ТП-2 – 0,7; ТП-3 – 2,5; ТП-4 – 0,25; ТП-5 – 0,11; ТП-6 – 0,19.

2. Разработана компьютерная модель оптико-электронного прибора обнаружения пожара.

3. При использовании разработанной модели определены спектральные диапазоны контроля излучения пожара прибором (6 точек) и выбрана элементная база оптико-электронного прибора. Точки контроля имеют следующие длины волны: 1800-1900-2000-3000-3400-3550 нм, максимальная погрешность при использовании данного набора точек составила 10%. В качестве фотоприемников выбраны PD-24-10-PR производства АИБИ и PD-38 производства ИоффеЛЕД.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (контракт № 12961ГУ/2018 от 04.05.2018).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Experimental investigation of the applicability of the method of spectral pyrometry for the task for rapid fire detection in dust-gas-air environments / M.N. Zyryanova, E.V. Sypin , S.A. Lisakov// 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2016: workshop processing / NSTU. – Novosibirsk, 2016. – P. 304-307.
2. **Магунов А.Н.** Спектральная пирометрия объектов с неоднородной температурой / А.Н. Магунов. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 248 с.
3. **Сыпин Е.В.** Оптико-электронный прибор обнаружения начальной стадии развития взрыва в газодисперсных системах / Е.В.Сыпин. // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Бийск: 2007. – 144 с.
4. **Павлов А.Н.** Оптико-электронная система определения трехмерных координат очага взрыва в газодисперсных системах на начальной стадии / А.Н. Павлов// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/ – Бийск: 2010. – 134 с.
5. **Поскачей А.А.** Оптико-электронные системы измерения температуры [Текст] / А.А. Поскачей. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 248 с.
6. ГОСТ Р 53325 – 2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний. [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2012. – 270 с.
7. **Тупикина, Н.Ю.** Оптико-электронный прибор двух спектральных отношений для контроля взрывоопасной пылегазовой атмосферы [Текст]: диссертация кандидата технических наук: 05.11.13 – Бийск, 2017. – 164 с.: ил.
8. Фотоприёмники. ИК диапазон, ООО "АИБИ", (IBSG) PD24-10-PR – Режим доступа: http://www.ibsg.ru/PDF_Data/PD24-10-PR_RU.pdf
9. Фотодиоды для средней инфракрасной области спектра, ООО «ИоффеЛЕД», PD38 – Режим доступа: <http://www.ioffeled.com/Specifications/PD38.pdf>
10. **Портола В.А.** Пожарная безопасность горных предприятий / В.А. Портола // Учебное пособие. – Кемерово 2008.
11. **Портола В.А.** Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело / В.А. Портола, П.В. Бурков, В.М. Гришагин, В.Я. Фарберов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 201 с.
12. **Александров С.Н.** Охрана труда в угольной промышленности / С.Н. Александров, Ю.Ф. Булгаков, В.В. Яйло // Учебное пособие для студентов горных специальностей высших учебных заведений. – Донецк, 2012.

13. **Смирнов А.М.** Основы геоэкологического мониторинга угольных шахт / А.М. Смирнов // Московский государственный горный университет. – Москва, 2003.