

05.11.13

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АДАПТАЦИИ МНОГОТОЧЕЧНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ПЛАМЕНИ ПОД ОХРАНЯЕМЫЙ ОБЪЕКТ ЗАДАННОЙ ФОРМЫ

**А.И. Кин, С.А. Лисаков, А.Ю. Сидоренко, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин**  
*Бийский технологический институт (филиал ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Бийск*

В статье описывается разработанное программное обеспечение для адаптации многоточечной оптико-электронной системы определения пространственных координат пламени под охраняемый объект заданной формы. Определены особенности автоматизации исследования. Разработаны структура и алгоритм программного обеспечения для автоматизации исследования адаптации многоточечной оптико-электронной системы под охраняемый объект заданной формы, на основе которых разработано программное обеспечение. Создана визуализация охраняемого объекта, на основе библиотеки компьютерной графики OpenGL, с целью удобного ввода оператором геометрии объекта, расположения некоординатных оптико-электронных датчиков на объекте, местоположения точек размещения пламени. Описаны блоки разработанного программного обеспечения. Для расчета целевой функции реализовано два метода: метод регрессии нейронными сетями и метод полиномиальной регрессии. Метод полиномиальной регрессии реализован с использованием системы компьютерной алгебры Maple. Для минимизации целевой функции реализованы следующие методы оптимизации: метод покоординатного спуска и градиентный метод с дроблением шага. Проведено тестирование программного обеспечения для конфигураций объектов в виде типовых сопряжений выработок в угольной шахте: прямое пересечение, прямое ответвление и прямое примыкание под прямым углом. Разработанное программное обеспечение может быть использовано при исследовании адаптации системы под охраняемый объект заданной формы.

*Ключевые слова:* многоточечная оптико-электронная система, автоматизация, объект заданной формы, алгоритм исследования адаптации системы.

## ВВЕДЕНИЕ

В БТИ АлтГТУ на кафедре МСИА разрабатывается многоточечная оптико-электронная система (далее – МОЭС), назначение которой состоит в обнаружении пламенного горения и определении его пространственных координат на охраняемых объектах [1-7].

МОЭС выполняет регистрацию потока оптического излучения пламени с помощью некоординатных оптико-электронных датчиков (далее - НОЭД). На основе информации о пространственном расположении НОЭД и значениях их выходных сигналов, с учетом законов освещенности, определяются пространственные координаты пламени внутри охраняемой зоны [1-7].

Для обеспечения требуемых параметров работы МОЭС на охраняемом объекте заданной формы, в работе [8], разработана методология адаптации МОЭС, суть которой заключается в определении количества НОЭД и их расположения на охраняемом объекте, при котором обеспечивается минимальная погрешность определения координат пламени.

На текущем этапе необходимо разработать программное обеспечение для автоматизации исследования адаптации МОЭС. Необходимость разработки программного обеспечения обусловлена тем, что про-

цесс адаптации представляет собой комплекс итерационных задач и является ресурсозатратным процессом.

В связи с этим, целью работы является – разработка программного обеспечения для адаптации многоточечной оптико-электронной системы определения пространственных координат пламени под охраняемый объект заданной формы.

Задачами, которые необходимо решить являются:

- разработать структуру и алгоритм программного обеспечения для автоматизации исследования адаптации МОЭС;
- разработать и реализовать программное обеспечение для автоматизации исследования адаптации МОЭС;
- провести комплексное тестирование разработанного программного обеспечения для охраняемых объектов заданной формы.

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И АЛГОРИТМА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Автоматизация исследования адаптации МОЭС под объект заданной формы характеризуется следующими особенностями:

- 1) Автоматизация должна позволять проводить исследование адаптации МОЭС, заключающиеся в вы-

боре метода расчета координат, метода минимизации целевой функции, а также в определении параметров системы (число НОЭД и их расположение), обеспечивающих требуемую точность при определении пространственных координат пламени.

2) Автоматизация выполняется при условии, что на начальном этапе предварительное размещение НОЭД задается оператором исходя из практических соображений. После задания предварительной схемы размещения НОЭД, программное обеспечение, в автоматическом режиме, позволяет определить оптимальное число НОЭД и их расположение.

3) При проведении исследований ранее использовались отдельные программы, импорт и экспорт данных между которыми осуществлялся вручную. Одной из задач автоматизации является объединение уже имеющихся программ в единый комплекс взаимосвязанных программ.

Структура программного обеспечения адаптации МОЭС представляет собой совокупность связанных между собой модулей (рис 1.).



Рис. 1. – Структура программного обеспечения

Модуль «Исходные данные» предназначен для формирования данных о геометрии объекта, количестве и расположении НОЭД, задании сетки размещения очагов пламени, равномерно распределенных на объекте, а также параметров и характеристик для остальных модулей компьютерной модели.

Методики для расчета модулей «Пламенное горение», «Промежуточная среда», «Сигналы с датчиков ОЭС», «Расчет координат пламени» составлены в соответствии с подходами, определенными по результатам предыдущих исследований [1-11].

Данные модули необходимы для расчета целевой функции, служащей для оценки точности определения координат пламени МОЭС. Аргументами целевой

функции являются пространственные координаты НОЭД и координаты базисных точек [8].

Целевая функция рассчитывается как среднее значения по приведенным погрешностям определения абсциссы, ординаты и аппликаты [8].

Модуль «Оптимизация МОЭС» определяет оптимальную схему расположения НОЭД, которая обеспечивает минимальную погрешность при расчете координат пламени. Модуль имеет обратную связь с модулем «Исходные данные» для корректировки начального расположения НОЭД и базисных точек.

Модуль «Проверка результатов» осуществляет сравнение рассчитанных максимальных приведенных погрешностей с требуемой погрешностью координат пламени. В случае невыполнения требуемого условия, происходит ввод дополнительного НОЭД, посредством обратной связи с модулем «Исходные данные».

Для реализации автоматизации исследования адаптации МОЭС под охраняемый объект заданной формы, на основе структуры, разработан алгоритм адаптации МОЭС, блок-схема которого представлена на рис. 2.

Алгоритм для адаптации МОЭС представляет собой последовательность следующих действий:

- 1) Ввод исходных данных о геометрии объекта, задание точек размещения пламени, ввод параметров и характеристик для моделирования.
- 2) Задание начального числа НОЭД.
- 3) Предварительное расположение НОЭД и базисных точек.
- 4) Расчет целевой функции.
- 5) Минимизация целевой функции, заключающаяся в выполнении итерационного алгоритма изменения расположения НОЭД и его базисных точек до достижения минимальной погрешности определения координат пламени.

6) Расчет максимальной приведенной погрешности по трем пространственным координатам – абсциссе, ординате, аппликате.

7) Проверка результатов, заключающаяся в сравнении полученных значений приведенной погрешности с требуемыми. При соответствии значений требуемым, формируются выходные данные, иначе происходит процедура добавления дополнительного НОЭД и возвращение к п. 3.

#### РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В соответствии с алгоритмом адаптации МОЭС, разработано программное обеспечение для автоматизации исследования адаптации МОЭС под объект заданной формы. Программное обеспечение разработано в среде Borland Developer Studio 2006 на языке Object Pascal, работающей под Microsoft Windows.

##### Формирование исходных данных

С целью удобного формирования и восприятия оператором геометрии объекта, расположения НОЭД

на объекте, местоположения точек размещения пламени, на базе библиотеки компьютерной графики OpenGL [12], создана визуализация охраняемого объекта заданной формы (рис. 3).

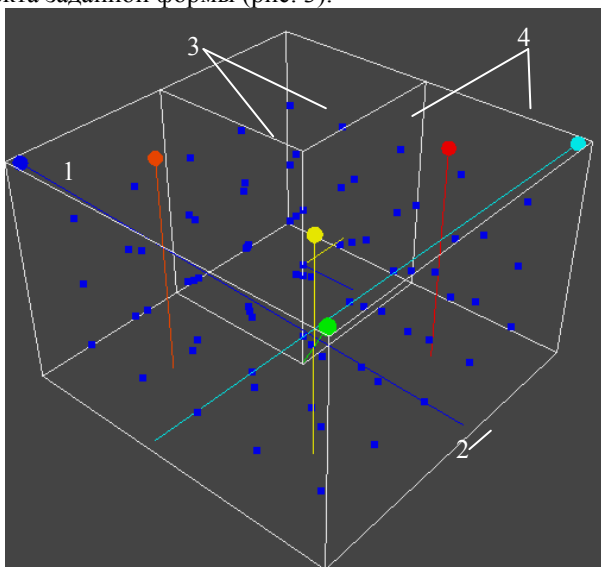


Рис. 3. Пример визуализации объекта заданной формы

Сферами (1) обозначено расположение НОЭД, отрезки (2) соединяют НОЭД с базисными точками и обозначают пространственную ориентацию оптических осей НОЭД. Точки размещения пламени (3) обозначены в виде синих точек. В программе предусмотрено вращение и масштабирование объекта. Стены (4) объекта отображаются в виде прямоугольников белого цвета.

Первый этап ввода исходных данных предназначен для формирования геометрии охраняемого объекта (рис. 4). Для этого используются три поля ввода данных: в первом поле X указывается длина объекта, во втором Y – ширина объекта, в третьем Z – высота объекта.

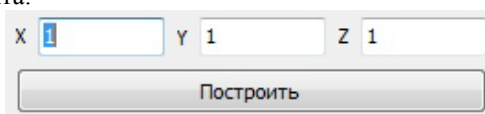


Рис. 4. Блок формирования геометрии охраняемого объекта

После создания объекта заданной формы в программном обеспечении предусмотрено добавление стен на охраняемом объекте (рис. 5). Добавление стены реализовано следующим образом: выбирается ось (абсцисса или ордината), вдоль которой будет располагаться стена. В верхних трех полях формируется размер стены, а в нижних – сдвиг стены относительно начала координат внутри охраняемого объекта.

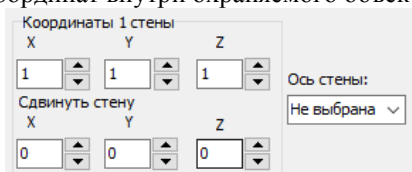


Рис. 5. Блок задания расположения стены

Второй этап ввода исходных данных заключается в задании точек размещения пламени (рис. 6). Точки размещения пламени располагаются равномерно по всему объекту заданной формы с заданным шагом сетки.

Точки размещения пламени, которые располагаются за добавленными стенами и не находятся в зоне обзора НОЭД, в дальнейших расчетах не учитываются.

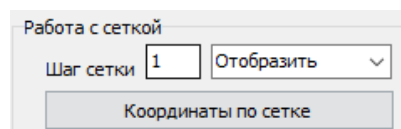


Рис. 6. Блок задания точек размещения пламени

На последнем этапе ввода исходных данных происходит ввод количества НОЭД и их расположения внутри охраняемого объекта заданной формы (рис. 7) Для каждого НОЭД предусмотрено 6 полей ввода: верхние три – для задания пространственных координат НОЭД по абсциссе, ординате и аппликате, нижние три – для задания базисной точки НОЭД. Предусмотрено, что НОЭД и базисные точки не могут выходить за границы охраняемого объекта заданной формы.

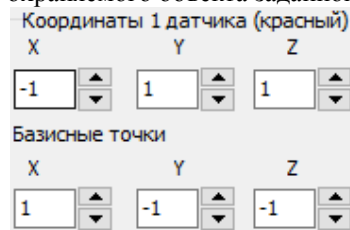


Рис. 7. Блок задания координат НОЭД и его базисной точки

Полученная конфигурация геометрии заданного объекта, с расположением НОЭД, базисных точек, задание точек размещения пламени, может быть сохранена в файл и при необходимости загружена и использована в дальнейших расчетах.

Сформированные данные образуют массив, который передается в следующие модули, предназначенные для расчета целевой функции.

*Расчет целевой функции*

Расчет целевой функции заключается в последовательном выполнении модулей «Пламенное горение», «Промежуточная среда», «Сигналы с датчиков ОЭС» и «Расчет координат пламени».

Для вышеприведенных модулей формируется массив исходных данных в блоке расчета целевой функции (рис. 8).

Сформированный массив исходных данных для расчета целевой функции поступает в модуль «Расчет координат пламени», где происходит решение задачи определения пространственных координат пламени.

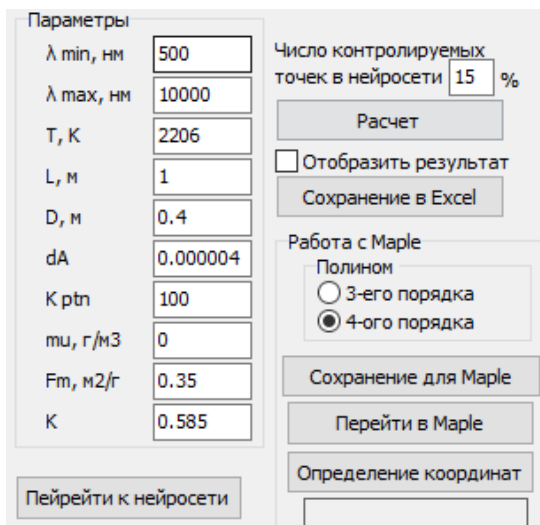


Рис. 8. Блок расчета целевой функции

В разработанном программном обеспечении реализованы два метода определения пространственных координат пламени:

- метод регрессии нейронными сетями;
- метод многофакторной полиномиальной регрессии.

Для метода регрессии нейронными сетями реализована ранее разработанная нейронная сеть [14] для которой предусмотрен интерфейс, реализующий ввод исходных данных (тип активационной функции, изменение ширины среднего слоя, изменение коэффициентов активационных функций), сохранение и загрузка весовых коэффициентов, отображение полученных результатов в виде таблицы и графиков, а также сохранение полученных результатов (рис.9).

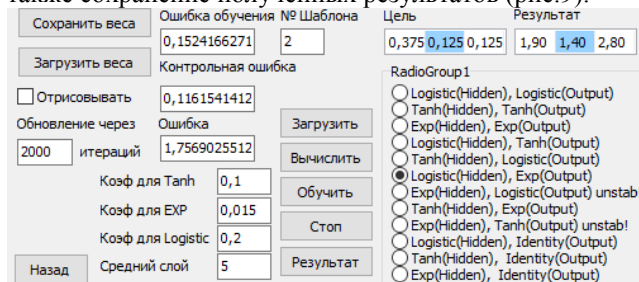


Рис. 9. Блок нейросети для определения пространственных координат пламени

Для метода многофакторной полиномиальной регрессии в качестве вспомогательного средства используется система компьютерной алгебры Maple [15].

На первом этапе работы с данным методом, в блоке расчета оптического излучения (рис. 7), выбирается полином (реализованы полиномы 3-его и 4-ого порядка). Происходит формирование файла в соответствии с выбранным полиномом. В автоматическом режиме сформированный файл загружается в Maple, где происходит процесс определения коэффициентов полиномиальной функции методом наименьших

квадратов. Полученные коэффициенты полиномов сохраняются в текстовые файлы, откуда данные поступают назад в программу. По полученным полиномиальным функциям рассчитываются координаты пламени и погрешность определения координат. Результаты отображаются в виде таблицы.

#### Оптимизация ОЭС

Выполнение модуля «Оптимизация «ОЭС», при реализации программного обеспечения, предусматривает следующие действия:

- 1) Расчет целевой функции;
- 2) Решение задачи многомерной оптимизации.

Для решения задачи многомерной оптимизации, реализованы следующие методы (рис. 10):

- метод покоординатного спуска;
- градиентный метод с дроблением шага [16,17].

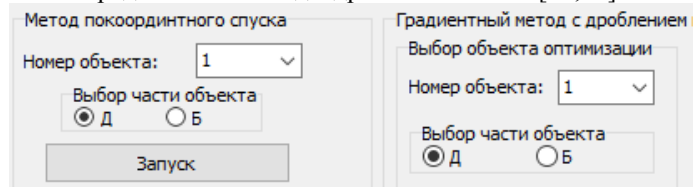


Рис. 10. Блок выбора метода минимизации целевой функции

Минимизация целевой функции выполняется в соответствии с подходами, описанными в работе [8].

Метод покоординатного спуска реализован как последовательный спуск на один шаг по одной из координат НОЭД или базисной точки до того момента, пока целевая функция убывает, затем выбирается другая координата и происходит аналогичная операция [8].

В градиентном методе с дроблением шага итерационный процесс изменения пространственных координат НОЭД и базисных точек выполняется на основе расчета градиента целевой функции. Итерационный процесс заканчивается в том случае, когда модуль градиента целевой функции меньше малой положительной величины, определяемой из практических соображений [8].

#### Модуль «Проверка результатов»

Данный модуль предполагает сравнение значений максимальной приведенной погрешности по каждой из координат, полученной в результате исследования, с требуемым значением.

На первом этапе работы модуля формируется таблица с рассчитанными значениями пространственных координат. Расчетные значения координат сравниваются с исходными значениями координат размещения пламени, и рассчитывается приведенная погрешность. По каждой из координат находится максимальная приведенная погрешность и записывается в таблицу (рис. 11).

Хи, м	Хэ, м	Погр, %
0,75	0,775918572454	1,295928622713
-0,75	-0,70788410321	2,105794839217
-0,25	-0,37078851259	6,039425629780
0,25	0,373796797744	6,189839887248
0,75	0,642729429694	5,363528515252
-0,75	-0,67338671683	3,830664158392
-0,25	-0,43979594073	9,489797036679
0,25	0,506452133089	12,82260665446
0,75	0,715348610406	1,732569479669
-0,75	-0,86542206943	5,771103471623
-0,25	-0,40509539834	7,754769917308
0,25	0,419438816553	8,471940827679
0,75	0,857738062327	5,386903116359
-0,75	-0,83951261142	4,475630571157
-0,25	-0,45389214480	10,19460724036
0,25	0,388602787812	6,930139390620
0,75	0,797844741386	2,392237069332
-0,75	-0,74938860463	0,030569768228
-0,25	-0,44807123715	9,903561857616
0,25	0,401152889415	7,557644470795
		16,76315072494

Рис. 11. Блок сравнения полученных координат пламени с исходными по одной из координат

Если значение максимальной приведенной погрешности оказывается выше требуемого значения, то принимается решение об изменении схемы расположения НОЭД путем введения дополнительного НОЭД.

#### Регистрация программного обеспечения

На разработанное программное обеспечение получены свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ [18-20].

#### ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Для тестирования программного обеспечения использовались охраняемые объекты в виде сопряжений выработок угольных шахт следующих типов: прямое примыкание, прямое ответвление и примыкание выработок под прямым углом [8].

Требуемое значение максимальной приведенной погрешности определения координат пламени составляет 15%.

Тестирование проводилось на основе метода полиномиальной регрессии, поскольку он менее вычислительно затратен по сравнению с методом регрессии нейронными сетями, требующих выполнения процедур обучения несколько раз для удовлетворительного выполнения регрессии. Используются как полиномы третьего, так и полиномы четвертого порядка.

Результат показал, что наименьшая погрешность достигается при использовании полинома четвертого порядка. Метод оптимизации незначительно влияет на окончательную точность.

Полученные максимальные приведенные погрешности, для тестируемых сопряжений выработок, представлены в табл. 1. Схемы размещения НОЭД для

каждой из сопряжений выработок представлены на рис. 12.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что разработанное программное обеспечение применимо при исследовании адаптации МОЭС под объект заданной формы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы разработано программное обеспечение для адаптации многоточечной оптико-электронной системы определения пространственных координат пламени под охраняемый объект заданной формы.

Определены особенности автоматизации: проведение исследования адаптации МОЭС, определение оптимального числа НОЭД и схемы расположения в автоматическом режиме, объединение в единый программный комплекс отдельных программ.

Разработаны структура и алгоритм для автоматизации исследования адаптации, на основе которых разработано программное обеспечение.

Разработана визуализация охраняемого объекта, позволяющая обеспечить удобство процесса формирования исходных данных оператором.

Для расчета пространственных координат пламени реализованы два метода: метод регрессии нейронными сетями и метод полиномиальной регрессии. Для первого метода разработана нейронная сеть, для второго реализована передача и прием данных из Maple.

Оптимизация ОЭС реализована на основе двух методов: метод покоординатного спуска и градиентный метод с дроблением шага.

Как показало тестирование, выбор метода оптимизации несущественно влияет на итоговую погрешность определения координат.

Разработанное программное обеспечение применимо для автоматизации исследования адаптации МОЭС под охраняемый объект заданной формы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-08-06719 а «Разработка научных основ построения системы предотвращения и локализации взрывов на потенциально опасных промышленных объектах».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лисаков, С.А. Определение координат очага взрыва многоточечной оптико-электронной системой на основе метода центра тяжести / С.А. Лисаков, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С.73-77.
2. Lisakov S.A., Pavlov A.N., Sypin E.V. Application of neural networks to determine the coordinates of the seat of fire by multipoint electro-optical system, 15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2014: Conference proceedings, Novosibirsk, 2014, pp. 265–269.
3. Лисаков, С.А. Применение численного моделирования для решения задачи определения пространственных координат очага возгорания многоточечной оптико-электронной системой / С.А. Лисаков, М.Н. Зырянова, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2015. – № 1. – С. 43–50.

4. Лисаков, С.А. Определение основных эксплуатационных параметров оптико-электронного датчика многоточечной системы определения пространственного расположения очага возгорания / С.А. Лисаков, А.В. Кураев, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин. // Ползуновский вестник. – 2014. – № 2. – С. 107–110.
5. Лисаков, С.А. Компьютерное моделирование системы определения координат очага взрыва на основе пространственного многоточечного анализа оптического излучения / С.А. Лисаков, Сыпин Е.В., Павлов А.Н., Кулявцев Е.Я // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 1.1. – С. 88–97.
6. Лабораторный образец многоточечной оптико-электронной системы определения пространственного расположения очага взрыва / С.А. Лисаков, Сыпин Е.В., Кураев А.В., Павлов А.Н. // Южно-сибирский научный вестник. – 2013. – №1 (3). – С. 19–21. – Режим доступа: [http://s-sibsb.ru/images/articles/2013/1/4\\_19-21.pdf](http://s-sibsb.ru/images/articles/2013/1/4_19-21.pdf)
7. Лисаков, С.А. Лабораторное исследование точности определения координат очага возгорания многоточечной оптико-электронной системой для одномерного случая / С.А. Лисаков, Сыпин Е.В., Кураев А.В., Павлов А.Н. // Южно-сибирский научный вестник. – 2013. – №2 (4). – С. 94–98. – Режим доступа: [http://s-sibsb.ru/images/articles/2013/2/21\\_94-98.pdf](http://s-sibsb.ru/images/articles/2013/2/21_94-98.pdf)
8. Lisakov S.A., Pavlov A.N., Sypin E.V., Leonov G.V., Kin A.I., Sidorenko A.Yu., Adaptation of the high-speed multipoint electrooptical system for determining of flame spatial coordinates at the object of the specified form. *19th international conference on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2018: : Conference proceedings*, Novosibirsk, 2018, pp. 403–410. [sibsb.ru/images/articles/2013/2/21\\_94-98.pdf](http://sibsb.ru/images/articles/2013/2/21_94-98.pdf)
9. Лисаков, С.А. Определение числа точек контроля и их расположения на охраняемом объекте для быстродействующей многоточечной оптико-электронной системы обнаружения пламени и определения его пространственных координат / С.А. Лисаков, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин, Г.В. Леонов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2017. – № 1. – С. 87–100.
10. Лисаков, С.А. Экспериментальное исследование по проверке адекватности определения пространственных координат пламени многоточечной оптико-электронной системой / С.А. Лисаков, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин, Г.В. Леонов // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП–2017): материалы XII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, 26–28 октября 2017 года / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2017. – С. 209–215.
11. Лисаков С.А. Компьютерное моделирование излучения пламени при горении метано-воздушных смесей на начальной стадии развития / С.А. Лисаков, А.И. Сидоренко, Е.В. Сыпин, А.Н. Павлов, Г.В. Леонов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2016. – № 3. – С. 32–41
12. OpenGL – The Industry's Foundation for High Performance Graphics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.opengl.org/>
13. Шахтное и подземное строительство. Технология строительства горизонтальных и наклонных выработок: Учеб. пособие/ Шахтинский ин-т ЮРГТУ. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. 430 с.
14. Активационные функции нейронов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/DujfC>
15. Maplesoft - Software for Mathematics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.maplesoft.com/>
16. Пантелеев, А. В. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие/А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. — 2-е изд., исправл. — М.: Высш. шк., 2005. — 544 с: ил.
17. Захарова Е.М. Обзор методов многомерной оптимизации / Е.М. Захарова, И.К. Минашина // Информационные процессы, Том 14, № 3, 2014, с. 256–274.
18. Свид 2018610282 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Компьютерная программа для адаптации многоточечной оптико-электронной системы определения пространственных координат пламени под охраняемый объект заданной формы/ С.А. Лисаков, Г.В. Леонов, Е.В. Сыпин, А.Н. Павлов, А.Ю. Сидоренко, А.И. Кин; заявл. 03.11.2017; опубл. 09.01.2018, Реестр программ для ЭВМ. – 2 с.
19. Свид. 2018615380 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Компьютерная программа для оптимизации расположения датчиков многоточечной оптико-электронной системы на базе градиентного метода / С.А. Лисаков, Г.В. Леонов, Е.В. Сыпин, А.Н. Павлов, А.Ю. Сидоренко, А.И. Кин; заявл. 23.03.2018; опубл. 08.05.2018, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
20. Свид. 2018615378 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Компьютерная программа для оптимизации расположения датчиков многоточечной оптико-электронной системы на базе метода по координатного спуска / С.А. Лисаков, Г.В. Леонов, Е.В. Сыпин, А.Н. Павлов, А.Ю. Сидоренко, А.И. Кин; заявл. 23.03.2018; опубл. 08.05.2018, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
- Кин Андрей Игоревич – магистрант кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854) 432450, e-mail: kin.andrew@mail.ru.*
- Лисаков Сергей Анатольевич – инженер кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854) 432450, e-mail: foxlsa@mail.ru.*
- Сидоренко Алексей Юрьевич – магистрант кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854) 432450, e-mail: sidorenko.alexey94@yandex.ru*
- Павлов Андрей Николаевич – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854)432450, e-mail: rap@bti.secna.ru.*
- Сыпин Евгений Викторович – к.т.н., доцент, профессор кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854)432450, e-mail: sev@bti.secna.ru*

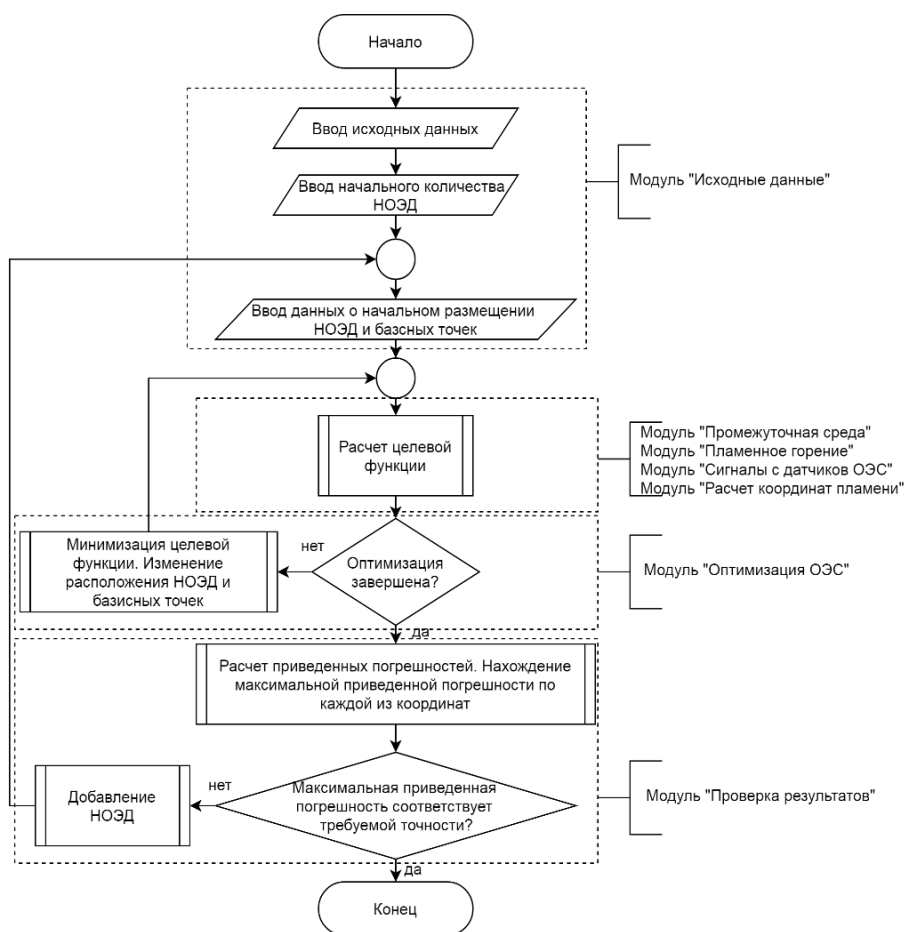
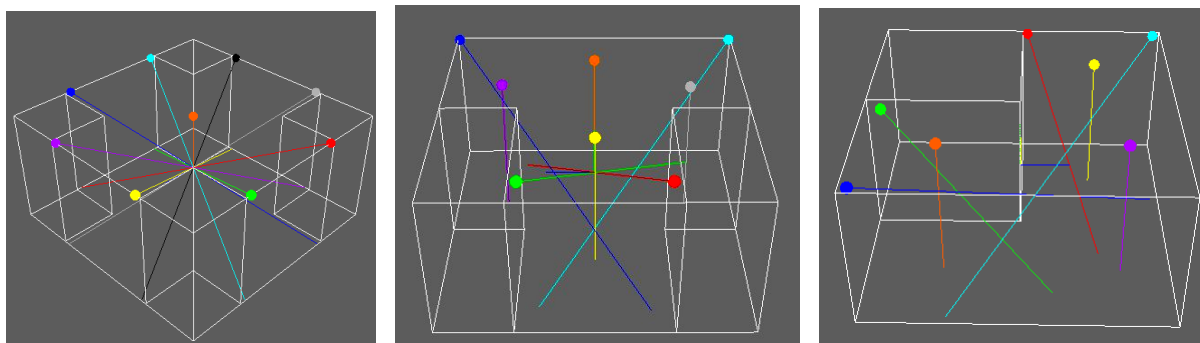


Рис. 2. Блок-схема алгоритма для автоматизации исследования адаптации МОЭС под объект заданной формы



а – прямое пересечение (9 НОЭД); б – прямое ответвление (8 НОЭД); в – примыкание выработок под прямым углом (7 НОЭД)

Рис. 12– Полученные схемы размещения НОЭД в сопряжениях угольных шахт, обеспечивающие требуемую погрешность определения координат пламени

Табл. 1 – Максимальная приведенная погрешность определения координат пламени, полученная в результате комплексного тестирования программного обеспечения

Вид охраняемого объекта	M	Метод оптимизации целевой функции	Метод определения координат	$\gamma_{\max}(x), \%$	$\gamma_{\max}(y), \%$	$\gamma_{\max}(z), \%$
Прямое пересечение	9	Градиентный метод с дроблением шага	Полиномиальная регрессия (полином 4 степени)	10,6	7,8	1
Прямое ответвление	8	Метод покоординатного спуска	Полиномиальная регрессия (полином 4 степени)	7,1	5,9	4,2
Примыкание выработок под прямым углом	7	Метод покоординатного спуска	Полиномиальная регрессия (полином 4 степени)	12,4	13,5	9,5

# DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR AUTOMATION OF THE INVESTIGATION OF ADAPTATION THE HIGH-SPEED MULTIPOINT ELECTROOPTICAL SYSTEM FOR DETERMINING OF FLAME SPATIAL COORDINATES AT THE OBJECT OF THE SPECIFIED FORM

A.I. Kin, S.A. Lisakov, A. Yu. Sidorenko, A.N. Pavlov, E.V. Sypin

*Biysk Technological Institute, Biysk*

Software for automation of the investigation of adaptation the high-speed multipoint electrooptical system for determining of flame spatial coordinates at the object of the specified form is create. Features of automation of research was been defined. Structure and algorithm of the software was been developed. The visualization of the object for facilitate work is based on the OpenGL. Blocks of software was describe. The target function was been calculated on the basis method of multifactorial polynomial regression and method of regression by neural networks. Method of multifactorial polynomial regression implemented with using math software Maple. Minimization of the target function carried out on the basis alternating-variable descent method and gradient method with adaptive step size. The software was tested with using section of coal mines with complex geometry, such as: direct intersection, direct branching; direct branching; abutting of mine workings at right angle. The proposed software is applicable for the adaptation of EOS to the object of any complex form.

*Index items –software, automation, object of the specified form, algorithm of the investigation of adaptation the system.*

## REFERENCES

1. Lisakov S.A., Pavlov A.N., Sypin E.V. “*Opređenje koordinat ochaga vzryva mnogotochechnoj optiko-ehlektronnoj sistemoj na osnove metoda tsentra tyazhesti*” [Determination of coordinates of the center of explosion by multipoint electrooptical system on the basis of a method of the center of gravity], *Yuzhno-Sibirskiy nauchny vestnik*, 2013, no. 4, pp. 73-77. (in Russian)
2. Lisakov S.A., Pavlov A.N., Sypin E.V. Application of neural networks to determine the coordinates of the seat of fire by multipoint electrooptical system, *15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2014: Conference proceedings*, Novosibirsk, 2014, pp. 265–269.
3. Lisakov S.A., Zyranova M.N., Pavlov A.N., Sypin E.V., “*Primenenie chislennogo modelirovaniya dlya resheniya zadachi opredeleniya prostanstvennykh koordinat ochaga vozgoraniya mnogotochechnoj optiko-ehlektronnoj sistemoj*” [Application of numerical modeling for the solution of a problem of determination of spatial coordinates of the center of ignition by multipoint electrooptical system], *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti*, 2015, no. 1, pp. 43-50. (in Russian)
4. Lisakov S.A., Kuraev A.V., Pavlov A.N., Sypin E.V. “*Opređenje osnovnykh ehkspluatatsionnykh parametrov optiko-ehlektronnogo datchika mnogotochechnoj sistemy opredeleniya prostanstvennogo raspolozheniya ochaga vozgoraniya*” [Determination of the main operational parameters of the electrooptical sensor of the multipoint system for determining the spatial location of the source of ignition], *Polzunovskiy vestnik*, 2014, no. 2, pp. 107-110. (in Russian)
5. Lisakov S.A., Sypin E.V., Pavlov A.N., Kulyavtsev E. Ya. “*Komp'yuternoe modelirovanie sistemy opredeleniya koordinat ochaga vzryva na osnove prostanstvennogo mnogotochechnogo analiza opticheskogo izlucheniya*” [Computer modeling of the system for determining the coordinates of the source of the explosion on the basis of spatial multipoint analysis of optical radiation], *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti*, 2013, no. 1.1, pp. 88-97. (in Russian)
6. Lisakov S.A. Sypin E.V., Kuraev A.V., Pavlov A.N. “*Laboratornyj obrazets mnogotochechnoj optiko-ehlektronnoj sistemy opredeleniya prostanstvennogo raspolozheniya ochaga vzryva*” [Laboratory sample of multipoint electrooptical system of definition of a spatial arrangement of the center of explosion], *Yuzhno-Sibirskiy nauchny vestnik*, 2013, no. 1, pp. 19-21. (in Russian)
7. Lisakov S.A., Sypin E.V., Kuraev A.V., Pavlov A.N. “*Laboratornoe issledovanie tochnosti opredeleniya koordinat ochaga vozgoraniya mnogotochechnoj optiko-ehlektronnoj sistemoj dlya odnomernogo sluchay*” [Laboratory investigation of the accuracy of determining the coordinates of the source of a fire by a multipoint optoelectronic system for the one-dimensional case], *Yuzhno-Sibirskiy nauchny vestnik*, 2013, no. 2, pp. 94-98. (in Russian)
8. Lisakov S.A., Pavlov A.N., Sypin E.V., Leonov G.V., Kin A.I., Sidorenko A.Yu., Adaptation of the high-speed multipoint electrooptical system for determining of flame spatial coordinates at the object of the specified form. *19th international conference on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2018: : Conference proceedings*, Novosibirsk, 2018, pp. 403–410.
9. Lisakov S.A., Pavlov A.N., Sypin E.V., Leonov G.V. “*Opređenje chisla toчек kontrolya i ikh raspolozheniya na okhranyaemom ob'ekte dlya bystrodejstvuyushhej mnogotochechnoj optiko-ehlektronnoj sistemy obnaruzheniya plameni i opredeleniya ego prostanstvennykh koordinat*” [Determination of the number of control points and their location on the protected object for a high-speed multipoint electrooptical flame detection system and determination of its spatial coordinates], *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti*, 2017, no.1, pp. 87-100. (in Russian)
10. Lisakov S.A., Pavlov A.N., Sypin E.V., Leonov G.V. “*EHksperimental'noe issledovanie po proverke adekvatnosti opredeleniya prostanstvennykh koordinat plameni mnogotochechnoj optiko-ehlektronnoj sistemoj*” [Experimental study to verify the adequacy of determining the spatial coordinates of a flame by a multipoint electrooptical system], *IAMP, Biysk Technological Institute*, 2017, pp. 209-215. (in Russian)
11. Lisakov S.A., Sidorenko A.I., Sypin E.V., Pavlov A.N., Leonov G.V., “*Komp'yuternoe modelirovanie izlucheniya plameni pri gorenii metano-vozdushnykh smesey na nachal'noj stadii razvitiya*” [Computer simulation of flame radiation during combustion of methane-air mixtures at the initial stage of development], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyj analiz i informatsionnye tekhnologii*, 2016, no. 3, pp. 32-41. (in Russian)
12. OpenGL – The Industry's Foundation for High Performance Graphics. – The access mode – <https://www.opengl.org/>



13. Mine and underground construction. Technology of construction of horizontal and inclined excavations, SHakhtinskij institut YURGTU, Novocherkassk, Russia, 2002
14. Activation functions of neurons. – The access mode – <https://cclck.ru/DujfC>.
15. MapleSoft - Software for Mathematics. – The access mode – <https://www.maplesoft.com/>
16. Panteleev A.V. Metody optimizacii v primerah i zadachah: Ucheb. posobie (Methods of optimization in examples and problems: Proc. Allowance) / A.V. Panteleev, T.A. Letova, 2-nd ed., Correct. Moscow, Higher education, 2005, 544 p. (in Russian).
17. Zakharova E.M. Obzor metodov mnogomernoj optimizacii (A review of methods of multidimensional optimization) / Zakharova, I.K. Minashina // Information Processes, Volume 14, No. 3, 2014, p. 256- 274. (in Russian).
18. Lisakov S.A., Leonov G.V, Sypin E.V, Pavlov A.N., Sidorenko A. Yu., Kin A.I., “Computer program for the adaptation of the high-speed multipoint electro-optical system for determining of flame spatial coordinates at the object of the specified form” Russia, Register of computer programs, license 2018610282, January 9, 2018. (in Russian)
19. Lisakov S.A., Leonov G.V, Sypin E.V, Pavlov A.N., Sidorenko A. Yu., Kin A.I., “Computer program for optimization for sensor locations multipoint electro-optical system on the basis gradient method” Russia, Register of computer programs, license 2018615380, May 8, 2018. (in Russian)
20. Lisakov S.A., Leonov G.V, Sypin E.V, Pavlov A.N., Sidorenko A. Yu., Kin A.I., “Computer program for optimization for sensor locations multipoint electro-optical system on the alternating-variable descent method” Russia, Register of computer programs, license 2018615378, May 8, 2018. (in Russian)

*Kin Andrey Igorevich – master student, Biysk Technological Institute, (3854)432450, e-mail: kin.andrew@mail.ru*

*Lisakov Sergey Anatolievich – engineer at the chair of methods and means of measuring and automation, Biysk Technological Institute, (3854)432450, e-mail: foxlsa@mail.ru*

*Sidorenko Alexey Yurevich – master student, Biysk Technological Institute, (3854)432450, e-mail: sidorenko.alexey94@yandex.ru*

*Pavlov Andrey Nikolaevich – Ph.D., associate professor of the chair of methods and means of measurement and automation, Biysk Technological Institute, (3854)432450, e-mail: pan@bti.secna.ru*

*Sypin Eugene Victorovich – associate professor at the chair of methods and means of measurement and automation, Biysk Technological Institute, (3854)432450, e-mail: sev@bti.secna.ru*