

УДК 621.373.826

ЛАЗЕРНЫЙ СЕНСОР ДЫМА И ТЕПЛООВОГО КОНВЕКЦИОННОГО ПОТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Кзаков В. И., Рывкина Я. А., Параскун А. С.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП)
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Представлена схема и техническая реализация лазерного сенсора комбинированного принципа с возможностью обнаружения дыма и теплового конвекционного потока. Выполнены экспериментальные исследования по регистрации появления дыма и теплового конвекционного потока и выполнена компьютерная обработка полученных результатов. Приведен анализ возможностей внедрения нейронных сетей в сферу пожарной безопасности, в частности, в разработанный лазерный сенсор. Выполнена оценка эффективности применения нейронных сетей в этой задаче.

Ключевые слова: лазерный сенсор, тепловой поток, дым, нейронная сеть, обработка сигналов.

LASER SMOKE AND HEAT CONVECTION FLOW SENSOR USING NEURAL NETWORKS

Kazakov V., Ryvkina Y., Paraskun A.

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The scheme and technical implementation of the laser sensor of the combined principle with the ability to detect smoke and heat convection flow are presented. Experimental studies on the registration of the appearance of smoke and heat convection flow are carried out and computer processing of the obtained results is performed. An analysis of the possibilities of introducing neural networks into the field of fire safety, in particular, into the developed laser sensor, is given. An assessment of the effectiveness of using neural networks in this task is performed.

Key words: laser sensor, heat flow, smoke, neural network, signal processing.

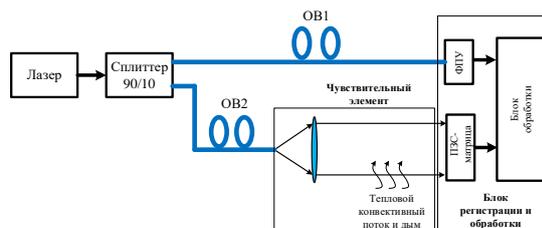
Адрес для переписки: Кзаков В. И., ул. Большая Морская, 67, г. Санкт-Петербург, 190000, Российская Федерация, e-mail: kvi@guap.ru

Введение. Применение лазерно-оптических технологий в задаче обнаружения теплового конвекционного потока является одним из перспективных направлений научных исследований, что подтверждается работами [1, 2]. Возгорание является экзотермической реакцией с выделением тепла, что приводит к случайным изменениям показателя преломления воздуха (тепловой конвекционный поток). Представленные в работах [3] результаты по исследованию влияния турбулентности атмосферы, наличия микрочастиц в воздухе на характеристики лазерных пучков, распространяющиеся в такой среде, позволяют утверждать, что по динамике изменения профиля лазерного пучка можно получить также информацию о наличии теплового конвекционного потока.

Схема лазерного сенсора. Структурная схема комбинированной системы обнаружения появления возгорания, основанная на регистрации и последующей обработке пространственных характеристик лазерного пучка, взаимодействовавшего с тепловым конвективным потоком и дымом представлена на рисунке 1 [4].

Система работает следующим образом. Излучение от лазера разделяется на 2 канала на сплиттере (90/10), причем большая часть мощности идет в основной канал по оптоволокну (ОВ2). Опорный канал (ОВ1) требуется для контроля параметров лазерного источника. На выходе из ОВ2 формируется лазерный пучок большого диаметра

(несколько сантиметров) для более эффективного взаимодействия с тепловым конвективным потоком. Далее лазерный пучок распространяется в контролируемом пространстве и попадает на ПЗС-матрицу блока регистрации и обработки сигналов. После детектирования оптических сигналов фотоприемным устройством и ПЗС-матрицей электрические сигналы подаются в блок обработки.



ОВ – оптоволокну; ФПУ – фотоприемное устройство

Рисунок 1 – Схема лазерного сенсора

Структурная схема блока обработки представлена на рисунке 2.

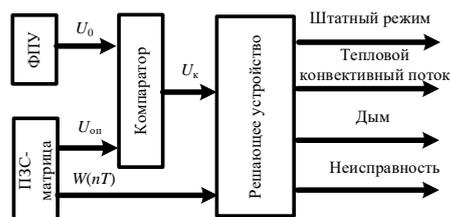


Рисунок 2 – Структурная схема блока обработки

Принципы комбинированного обнаружения возгорания реализовано в блоке обработки сигналов. Остановимся подробнее на логике его работы. Этот блок регистрирует пространственное распределение пучка попиксельно и передает информацию о профиле пучка в блок обработки в цифровом виде в форме отсчетных значений интенсивности. В блоке обработки происходит компьютерная обработка полученных значений и формируется сигнал, отражающий динамику взаимодействия теплового конвективного потока и лазерного пучка. Одновременно происходит сопоставление уровней сигнала U_0 и $U_{оп}$ на компараторе. Полученный сигнал как разность этих двух уровней также поступает в блок обработки. На основании информации о полученных уровнях сигналов блок обработки выдает четыре вида оповещений: штатный режим работы, дым, тепловой конвективный поток, неисправность.

Экспериментальные исследования. Проведен ряд экспериментальных исследований, которые заключались в исследовании динамики профиля лазерного пучка при отсутствии и появлении теплового конвекционного потока. В течение 15 секунд велась регистрация выборок распределения профиля интенсивности пучка. Время накопления каждой выборки составляло 10 мкс.

В общей сложности было проведено 3 эксперимента, при этом изменялась длина чувствительной области, которая составила 0,5, 1 и 3,5 м соответственно.

Для наглядного представления флуктуаций лазерного пучка на таблице 1 приведены 3-D графики, отражающие динамику изменения распределения профиля интенсивности пучка при отсутствии и появлении теплового конвективного потока.

Таблица 1 – Динамика профиля лазерного пучка

	$l=0,5$ м	$l=1$ м	$l=3,5$ м
Без ТКП			
С ТКП			

Для обработки был использован корреляционный метод обработки сигналов, заключающийся в расчете взаимно-корреляционной функции двух соседних выборок. Кроме того, авторами был использован второй метод обработки полученных результатов, который заключается в расчете интегрально-разностной функции, отражающей попиксельную разность зарегистрированных распределений интенсивностей профиля пучка.

На рисунке 3 приведен результат сопоставления эффективности использованных методов обработки.

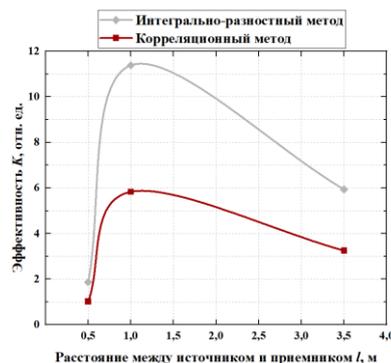


Рисунок 3 – Оценка эффективности методов обработки

При оценке эффективности методов обработки предпочтительнее оказывается интегрально-разностный метод.

Несмотря на положительные результаты эксперимента, остается проблема вероятности ложных срабатываний из-за естественных тепловых потоков. Для ее решения предложено использование более сложных методов обработки, такие как нейронные сети. Нейросети уже показали свою эффективность в пироэлектрических пожарных датчиках. Основными этапами при такой постановке задачи являются выбор оптимальной нейросети и ее обучение.

Для оценки эффективности нейросети в задаче раннего обнаружения возгораний лазерно-оптическими методами использовался ряд параметров, таких как точность, прогнозируемость, устойчивость и вычислительная эффективность. Установлено, что для комплексной оценки лучше использовать несколько метрик, чтобы получить полное представление о том, как сеть справляется с задачей и насколько она пригодна для реальных применений.

Литература

1. Kazakov, V. I. Computer Processing of Laser Beam Profile Dynamics Changing During Interaction with a Thermal Convective Flow / V. I. Kazakov // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – V. 597. – P. 972–979.
2. Beam displacement as a function of temperature and turbulence length scale at two different laser radiation wavelengths / W. M. Isterling [et al.] // Appl. Opt. – V. 51. – 2012. – P. 55–63.
3. Деформация и блуждание вихревых пучков в искусственной конвективной турбулентности / А. В. Фалиц [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2023. – Т. 36, № 8 (415). – С. 619–630.
4. Патент РФ 2805772 Волоконно-оптический датчик дыма и теплового конвекционного потока / В. И. Казаков, С. Н. Мосенцов, А. С. Параскун. – Оpubл. 24.10.2023.