

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ОЭП ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВОВ

А.И. Сидоренко, С.А. Лисаков, Е.В. Сыпин

В статье описаны особенности применения компенсационного метода подавления оптических помех для оптико-электронного прибора обнаружения взрыва. Приведены результаты экспериментального исследования эффективности применения компенсационного метода.

Ключевые слова: оптико-электронный прибор, оптические помехи, компенсационный метод, экспериментальное исследование.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее опасных проявлений техногенных катастроф являются пожары и взрывы пылегазовых горючих смесей с воздухом. На промышленных объектах с пожаро- и взрывоопасной средой возможно возникновение аварийных ситуаций с человеческими жертвами, материальными потерями и разрушениями.

На кафедре МСИА БТИ АлтГТУ разрабатываются оптико-электронные приборы (ОЭП) для автоматических систем взрывоподавления, основной областью применения которых являются угольные шахты [1, 2]. При этом актуальной задачей является исследование и разработка методов повышения помехоустойчивости к оптическим помехам при сохранении высокой чувствительности и быстродействия приборов [3].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одним из перспективных методов повышения помехоустойчивости оптико-электронного прибора является компенсационный метод подавления оптических помех [4], основанный на использовании различия спектральных характеристик обнаруживаемого или наблюдаемого объекта (цели) и помехи (как естественного, так и искусственного происхождения). Применение компенсационного метода подавления оптических помех в ОЭП в совокупности с пространственной и спектральной фильтрацией может заметно повысить помехозащищенность ОЭП.

Целью работы является оценка эффективности применения компенсационного метода для повышения помехоустойчивости оптико-электронных приборов обнаружения очага взрыва на основе экспериментального исследования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие частные задачи:

- определить особенности применения компенсационного метода подавления оптических помех для построения экспериментального образца оптико-электронного прибора обнаружения очага взрыва;

- провести экспериментальное исследование эффективности применения компенсационного метода.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕТОДА ПОДАВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОМЕХ

Компенсационный метод [4] заключается в приеме ОЭП оптического излучения в двух различных спектральных диапазонах и последующем взаимном вычитании этих сигналов. Сигнал от цели (очага взрыва) пропорционален разности сигналов, формируемых в двух диапазонах [4]:

$$\Delta \sim \left[\begin{array}{l} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{ц}(\lambda) s_1(\lambda) \tau_{o1}(\lambda) \tau_{a1}(\lambda) d\lambda - \\ - \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} M_{ц}(\lambda) s_2(\lambda) \tau_{o2}(\lambda) \tau_{a2}(\lambda) d\lambda \end{array} \right],$$

где $M_{ц}(\lambda)$ – спектральная энергетическая светимость цели, Вт/м²; $\tau_{a1}(\lambda)$, $\tau_{a2}(\lambda)$ – спектральные коэффициенты ослабления излучения средой распространения; $s_1(\lambda)$, $s_2(\lambda)$ – спектральные характеристики приемников излучения, А/Вт; $\tau_{o1}(\lambda)$, $\tau_{o2}(\lambda)$ – спектральные коэффициенты пропускания оптической системы для отдельного диапазона.

Граница двух диапазонов оптических спектров излучения $\lambda_1 \dots \lambda_2$ и $\lambda_3 \dots \lambda_4$, определяется следующими условиями [4]:

- уравнивание энергий излучения поме-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ОЭП ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВОВ

хи в каждом оптическом диапазоне, что позволяет компенсировать сигнал помехи:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{II}(\lambda) s_1(\lambda) \tau_{o1}(\lambda) \tau_{a1}(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} M_{II}(\lambda) s_2(\lambda) \tau_{o2}(\lambda) \tau_{a2}(\lambda) d\lambda$$

где $M_{II}(\lambda)$ – спектральная энергетическая светимость помехи, Вт/м²;

– выделение сигнала цели после вычитания достигается за счет существенного различия энергий излучения цели в каждом оптическом диапазоне (диапазон $\lambda_1 \dots \lambda_2$ соответствует спектру излучения пламени, диапазон $\lambda_3 \dots \lambda_4$ – спектру излучения оптической помехи):

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{II}(\lambda) s_1(\lambda) \tau_{o1}(\lambda) \tau_{a1}(\lambda) d\lambda \gg \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} M_{II}(\lambda) s_2(\lambda) \tau_{o2}(\lambda) \tau_{a2}(\lambda) d\lambda$$

При выборе границ спектральных диапазонов необходимы данные о спектральном распределении излучения продуктов взрыва и излучения оптических помех. На потенциально опасных производствах и объектах с возможной пожаро- и взрывоопасной средой, наиболее часто происходят взрывы смесей углеводородов с воздухом, основными продуктами горения которых являются углекислый газ и вода. К оптическим помехам относятся источники естественного и искусственного освещения, нагретые тела.

Излучение продуктов взрыва смесей углеводородов с воздухом определяется главным образом линейчатым спектром излучения возбужденных молекул, входящих в состав продуктов горения (молекулы углекислого газа и воды). Для углекислого газа максимумы энергии излучения характерны для длин волн – 1.34, 4.3, 7.45 и 15.05 мкм, для паров воды – 1.29, 1.87, 2.66, 2.74 и 6.27 мкм (рисунок 1) [5].

Оптические помехи, влияющие на работу оптико-электронного прибора, могут быть разделены на помехи от источников естественного и искусственного освещения и на помехи от нагретых тел. К естественным относятся помехи, возникающие из-за мешающего излучения Солнца, к искусственным относят излучение люминесцентных и светодиодных ламп, ламп накаливания. Оптические помехи, связанные с излучением нагретых тел вызваны излучением промышленного оборудования установленного на объекте контроля, имеющего температуру от 100 до 300 °С (рисунок 2) [6, 7]. Оптические помехи создают

фон, на котором трудно выделить полезный сигнал, что может привести к пропуску взрыва или ложному срабатыванию.

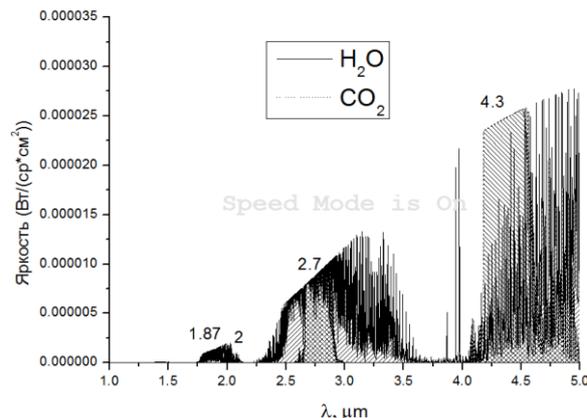


Рисунок 1 – Спектральная зависимость яркости свечения продуктов горения углеводородовоздушных смесей

Наибольшее влияние на оптико-электронный прибор оказывают помехи, спектр излучения которых близок к спектру излучения продуктов горения (H₂O и CO₂). Это излучение от лампы накаливания, солнечный свет, излучение нагретых тел. Люминесцентные и светодиодные лампы не будут оказывать существенного влияния на работу оптико-электронного прибора, поскольку максимум спектральной характеристики излучения таких ламп находится в видимой области спектра. Оптические помехи, создаваемые излучением люминесцентных и светодиодных ламп, могут быть подавлены за счет спектральной фильтрации. Оптические помехи от ламп накаливания, солнечного света, и нагретых тел необходимо подавлять не только за счет спектральной фильтрации, но и с помощью метода спектральной селекции.

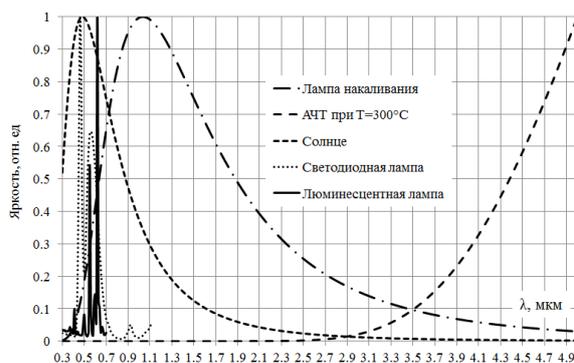


Рисунок 2 – Зависимость яркости свечения различных источников оптических помех от длины волн

При выборе фотоприемников для контроля очага взрыва необходимо, чтобы область их спектральной чувствительности соответствовала максимумам кривой излучения продуктов горения, например 2,7 и 4,2 мкм (рисунок 1).

При выборе фотоприемников для контроля излучения от оптических помех в виде ламп накаливания и солнечного света необходимо, чтобы область их спектральной чувствительности соответствовала диапазону длин волн от 0,8 до 1 мкм. Выбор данного спектрального диапазона обеспечит существенное различие энергий излучения взрыва и оптических помех данного вида.

Фотоприемник для контроля оптических помех от нагретых тел должен иметь область спектральной чувствительности от 3 до 5 мкм. Необходимо также обеспечить существенное различие энергий излучения взрыва и оптической помехи в виде излучения нагретого тела в соответствующих спектральных диапазонах, следовательно, контроль такой оптической помехи осуществляется в диапазоне от 3,7 до 3,9 мкм.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕТОДА

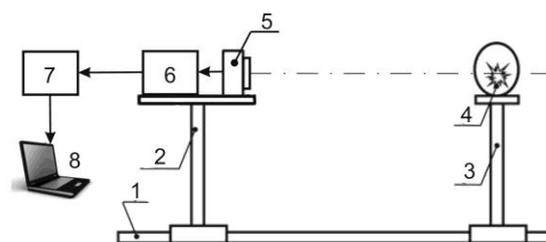
Основными этапами экспериментального исследования являются:

- разработка конструкции лабораторной установки;
- разработка методик исследования помехоустойчивости;
- проведение исследования и экспериментальная оценка эффективности применения компенсационного метода.

В ходе выполнения работ была разработана конструкция лабораторной установки для проведения исследований (рисунок 3).

Лабораторная установка для проведения исследований представляет собой оптическую скамью 1, на которой закреплены штативы 2, 3. На штативе 2 установлен блок приемников излучения и блок преобразования 6. На штативе 3 устанавливается источник излучения 4. Блок преобразования преобразует ток с фотоприемников в напряжение и усиливает полученный сигнал. Сигналы с фотоприемников поступают на блок АЦП 7, преобразуются в цифровой код. Данные с АЦП передаются на персональный компьютер 8.

Блок фотоприемников представляет собой совокупность фотоприемников, чувствительные элементы которых расположены в одной плоскости определенным образом (рисунок 4).



1 – оптическая скамья; 2, 3 – штатив; 4 – источник излучения; 5 – блок приемников излучения; 6 – блок преобразования; 7 – блок АЦП; 8 – персональный компьютер

Рисунок 3 – Структурная схема лабораторной установки

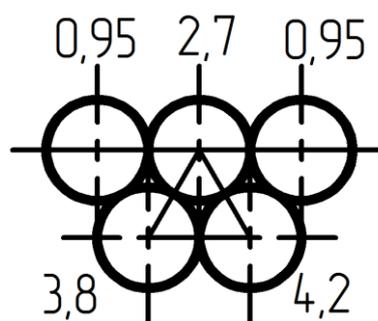


Рисунок 4 – Блок фотоприемников

При проведении экспериментов для контроля очага взрыва использовались фотодиоды с максимальной спектральной чувствительностью на длинах волн 2,7 и 4,2 мкм PD27Sr и PD42Sr, выпускаемые российской фирмой ООО «ИоффелеД» [8]. В качестве фотодиода для контроля излучения оптических помех в виде ламп накаливания и солнечного света, выбран фотодиод SFH 203 FA фирмы OSRAM Opto Semiconductors. Для контроля излучения от тепловых помех на длине волны 3,8 мкм использовался фотодиод PD38Sr фирмы ООО «ИоффелеД» [8].

В блоке фотоприемников фотодиоды PD27Sr, PD42Sr и PD38Sr располагаются так, чтобы чувствительные элементы фотоприемников были расположены в одной плоскости, их центры – в вершинах равностороннего треугольника, фотодиоды касаются друг друга и их чувствительные элементы направлены на очаг взрыва, оптические оси каналов параллельны. Это позволяет обеспечить максимальный угол обзора при дальнейшей разработке оптико-электронного прибора [9]. Для контроля оптической помехи в виде лампы накаливания используются 2 фотодиода SFH 203 FA с максимумом спектральной чувствительности на длине волны 0,95 мкм расположенные в одной плоскости со всеми фо-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ОЭП ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВОВ

топриемниками на одной оси с фотодиодом PD27Sr. Такое расположение позволяет обеспечить устойчивость к оптическим помехам при модуляции излучения от оптической помехи в виде лампы накаливания светонепроницаемой перегородкой.

В качестве источников излучения в зависимости от методики исследования используются оптическая помеха в виде излучения лампы накаливания, пропановая горелка (очаг взрыва), модель абсолютно черного тела (оптическая помеха в виде излучения нагретого тела).

В качестве оптической помехи при проведении экспериментов использовалась лампа накаливания 60 Вт; очаг взрыва имитировался горением пропан-бутановой смеси (горелка пропановая газовая Rexer RB-04-040), для имитации воздействия оптической помехи в виде излучения нагретого тела использовался прибор АЧТ-45/100/1000 [10].

Фотодиоды включены в фотогальваническом режиме работы. Блок преобразования состоит из пяти преобразователей ток-напряжение для каждого из фотодиодов с соответствующими коэффициентами преобразования. Для фотодиодов PD27Sr, PD42Sr и PD38Sr коэффициент преобразования равен 106 В/А. Для фотодиодов SFH 203 FA коэффициент преобразования равен $2 \cdot 10^5$ В/А. Все коэффициенты подобраны экспериментально исходя из чувствительности фотодиода и условий проведения экспериментов.

На входы блока АЦП поступают сигналы с преобразователей ток-напряжение:

- U1, U2: преобразованные сигналы с фотоприемников SFH 203 FA (0,95 мкм);
- U3: преобразованный сигнал с фотоприемника PD38Sr (3,8 мкм);
- U4: преобразованный сигнал с фотоприемника PD42Sr (4,2 мкм);
- U5: преобразованный сигнал с фотоприемника PD27Sr (2,7 мкм).

Далее на рисунках сигналы приведены в соответствии с указанными обозначениями.

На основе анализа литературы и ГОСТ Р 53325-2012 [11] были разработаны следующие методики исследования помехоустойчивости к оптическим помехам оптико-электронного прибора обнаружения очага взрыва:

– методика исследования зависимости сигналов фотоприемников от освещенности, создаваемой оптической помехой в виде излучения лампы накаливания при отсутствии модуляции и при модуляции излучения светонепроницаемой перегородкой и переключением источника питания;

– методика исследования зависимости

сигналов фотоприемников от температуры оптической помехи в виде излучения нагретого тела;

– методика исследования зависимости сигналов фотоприемников от освещенности при одновременном воздействии излучения пропановой горелки и оптической помехи в виде излучения лампы накаливания;

– методика исследования зависимости сигналов фотоприемников от температуры оптической помехи в виде излучения нагретого тела при одновременном воздействии излучения пропановой горелки и оптической помехи.

Зависимости преобразованных сигналов с фотоприемников от освещенности, создаваемой оптической помехой в виде излучения лампы накаливания при отсутствии модуляции, представлены на рисунке 5.

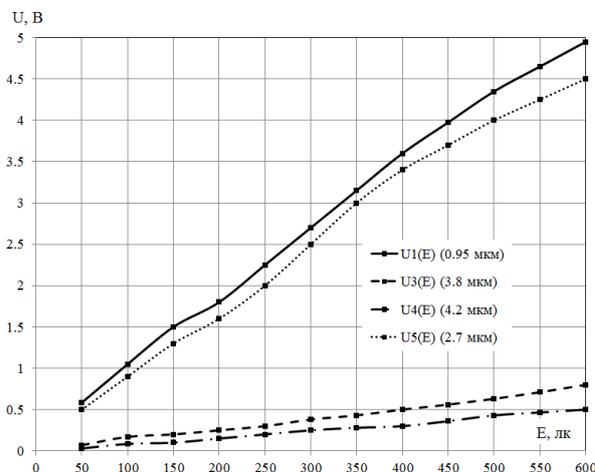


Рисунок 5 – Зависимости сигналов с фотоприемников от освещенности, создаваемой оптической помехой в виде излучения лампы накаливания при отсутствии модуляции

Из данных, приведенных на рисунке 5 видно, что сигнал на фотоприемнике PD27Sr (U5(E)) с максимумом спектральной чувствительности на длине волны 2,7 мкм значительно изменяется в зависимости от освещенности лампы накаливания. Этот сигнал может быть в полной мере скомпенсирован сигналом с фотоприемника SFH 203 FA (U1(E)) с максимумом спектральной чувствительности на длине волны 0,95 мкм. На рисунке 5 зависимости для сигналов U1 и U2 совпадают. Излучение лампы накаливания в меньшей степени оказывает влияние на изменение сигналов фотоприемников PD42Sr (U4(E)) и PD38Sr (U3(E)) с максимумами спектральной чувствительности на длинах волн 4,2 и 3,8 мкм соответственно. Сигнал на фо-

топриемнике PD42Sr может быть в полной мере скомпенсирован сигналом с фотоприемника PD38Sr.

Зависимости сигналов фотоприемников от времени при модуляции излучения, создаваемого лампой накаливания перегородкой (освещенность в плоскости чувствительных элементов фотоприемников 400 лк), представлены на рисунке 6.

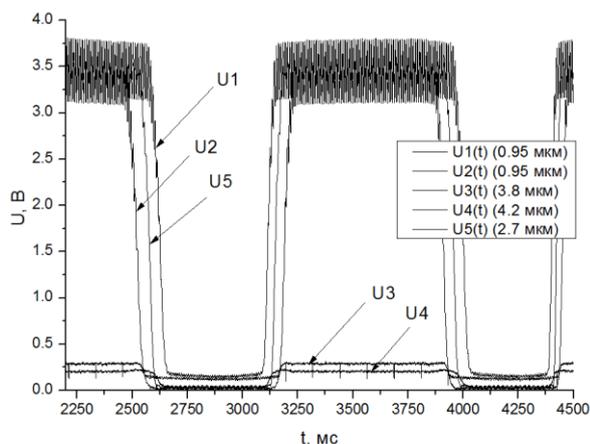


Рисунок 6 – Зависимости сигналов фотоприемников от времени при модуляции излучения, создаваемого лампой накаливания перегородкой

Из данных, представленных на рисунке 6, видно, что при модуляции излучения перегородкой сигнал на фотоприемнике PD27Sr – U5(t) может быть скомпенсирован только одним из сигналов U1(t) или U2(t) с фотоприемников SFH 203 FA. На рисунке 6 сигнал U5(t) компенсируется сигналом U1(t) и не скомпенсирован сигналом U2(t). Таким образом, при компенсации сигнала оптической помехи с фотоприемника PD27Sr – U5(t) необходимо выбирать максимальное значение из значений двух сигналов U1(t) или U2(t). Это позволит исключить в дальнейшем ложные срабатывания прибора при модуляции излучения, создаваемого лампой накаливания.

Зависимости сигналов с фотоприемников от времени при модуляции излучения, создаваемого лампой накаливания включением/выключением источника питания (освещенность в плоскости чувствительных элементов фотоприемников 400 лк), представлены на рисунке 7.

Из данных, представленных на рисунке 7, видно, что сигнал U5(t) оказывается не скомпенсированным сигналами U1(t) и U2(t) при включении и выключении источника питания. Это связано с инерционностью нагрева и охлаждения нити накала в лампе накаливания.

При этом сигналы с фотоприемников PD42Sr – U4(t) и PD38Sr – U3(t) практически не изменяются при переключении источника питания. Следовательно, для исключения ложного срабатывания прибора необходимо контролировать превышение порога срабатывания одновременно сигналами U5(t) и U4(t).

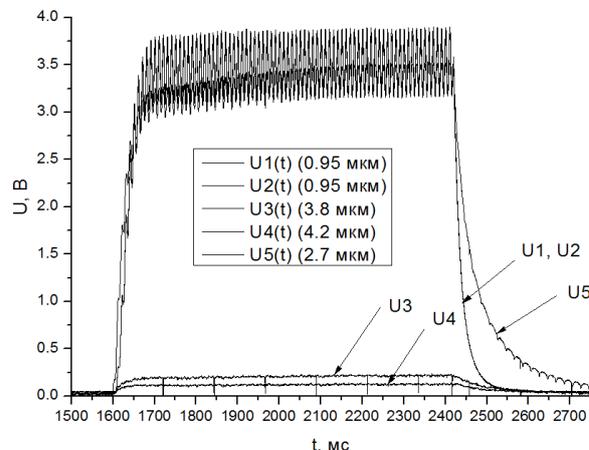


Рисунок 7 – Зависимости сигналов фотоприемников от времени при модуляции излучения, создаваемого лампой накаливания переключением источника питания

Зависимости сигналов фотоприемников от температуры оптической помехи в виде излучения нагретого тела представлены на рисунке 8.

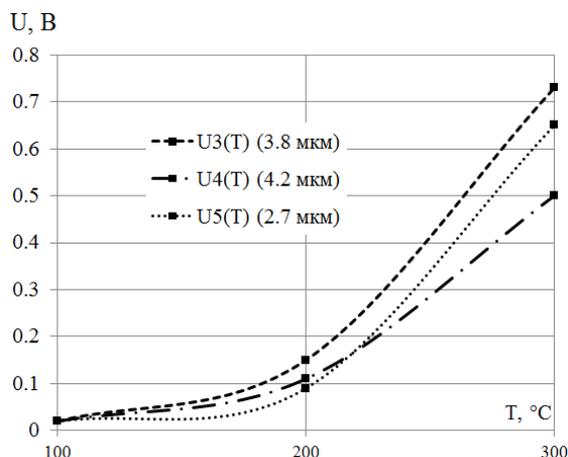


Рисунок 8 – Зависимости сигналов фотоприемников от температуры оптической помехи в виде излучения нагретого тела

Из данных, представленных на рисунке 8, видно, что оптическая помеха в виде излучения нагретого тела оказывает значительное влияние на изменение сигналов U3(T), U4(T) и

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ОЭП ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВОВ

U5(T) в зависимости от ее температуры. Фотоприемники SFH 203 FA с максимумом спектральной чувствительности на длине волны 0,95 мкм не реагируют на излучение оптической помехи. Сигналы U4(T) и U5(T) могут быть полностью скомпенсированы сигналом U3(T) в диапазоне температур от 100 до 300 °С

Зависимости сигналов фотоприемников от освещенности при одновременном воздействии излучения пропановой горелки и оптической помехи в виде излучения лампы накаливания 60 Вт приведены на рисунке 9.

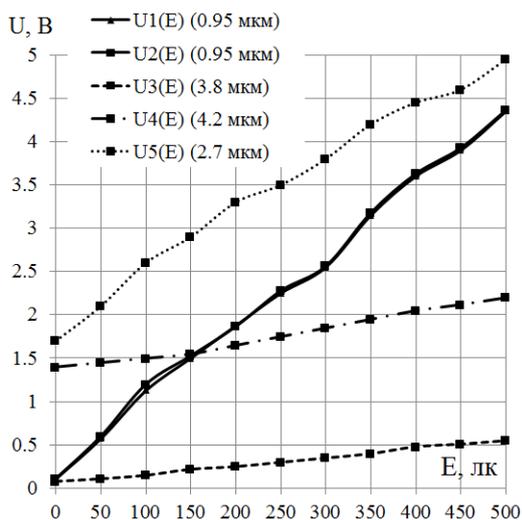


Рисунок 9 – Зависимости сигналов фотоприемников от суммарной освещенности при одновременном воздействии излучения пропановой горелки и оптической помехи в виде излучения лампы накаливания 60 Вт

Из данных (рисунок 10) видно, что значение сигнала U5(E) значительно превышает значения сигналов U1(E), U2(E), а значение сигнала U4(E) превышает значение сигнала U3(E) за счет существенного различия энергий излучения горения в спектральных диапазонах чувствительности фотоприемников. Следовательно, горение может быть обнаружено на фоне оптической помехи в виде излучения лампы накаливания при изменении освещенности в плоскости блока фотоприемников в диапазоне от 0 до 500 лк.

Зависимости сигналов фотоприемников от температуры оптической помехи в виде излучения нагретого тела при одновременном воздействии излучения пропановой горелки и оптической помехи приведены на рисунке 10.

Из рисунка 10 видно, что горение может быть обнаружено на фоне оптической помехи в виде излучения нагретого тела при изменении ее температуры в диапазоне от 100 до 300 °С.

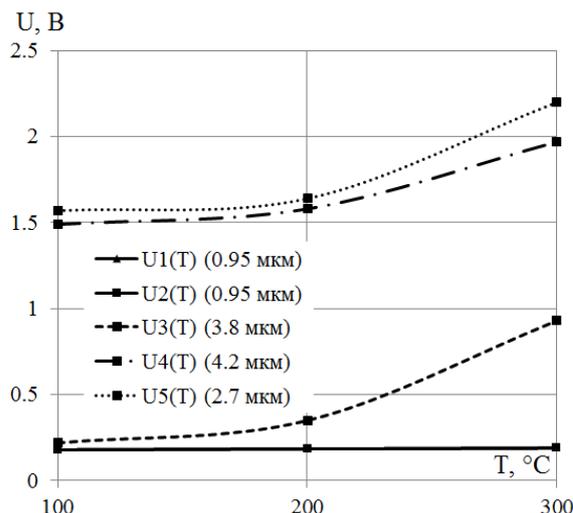


Рисунок 10 – Зависимости сигналов фотоприемников от температуры оптической помехи в виде нагретого тела при одновременном воздействии излучения пропановой горелки и оптической помехи

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы проведено экспериментальное исследование эффективности применения компенсационного метода.

Экспериментально доказано, что при выборе фотоприемников для контроля очага взрыва необходимо, чтобы область их спектральной чувствительности соответствовала максимумам кривой излучения продуктов горения (H₂O и CO₂): 2,7 и 4,2 мкм. При выборе фотоприемников для контроля излучения от оптических помех в виде ламп накаливания и солнечного света необходимо, чтобы область их спектральной чувствительности соответствовала диапазону длин волн от 0,8 до 1 мкм. Выбор данного спектрального диапазона обеспечит существенное различие энергий излучения взрыва и оптических помех данного вида. Фотоприемник для контроля оптических помех от нагретых тел должен иметь область спектральной чувствительности от 3,7 до 3,9 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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.
- Зырянова, М. Н. Адаптация метода спектральной пирометрии для построения быстро-

действующего прибора обнаружения возгорания / М. Н. Зырянова, Е. В. Сыпин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2015. – № 4(12). – С. 81–84. – Режим доступа: http://s-sibsb.ru/images/articles/2015/4/14_81-84.pdf.

3. Lisakov, S. A. High-speed flame detector with the reduction of optical noise by the compensation method / S. A. Lisakov, A. N. Pavlov, E. V. Sypin // 16th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2015: Conference proceedings. – Novosibirsk : NSTU, 2015. – P. 297–301.

4. Якушенков, Ю. Г. Методы борьбы с помехами в оптико-электронных приборах / Ю. Г. Якушенков, В. Н. Луканцев, М. П. Колосов. – М. : Радио и связь, 1981. – 180 с.

5. Шаровар, Ф. И. Методы раннего обнаружения загораний / Ф. И. Шаровар. – М. : Стройиздат, 1988. – 336 с.

6. Неплохов, И. Г. Извещатели пламени. Часть 1. Источники излучения, ингибиторы и т.д. / И. Г. Неплохов // Алгоритм Безопасности. – 2014. – № 4. – С. 86–89. – Режим доступа: http://www.algoritm.org/arch/14_4/14_4_37.pdf.

7. Кулагов, В. Б. Извещатели пламени «НАБАТ»: преимущество и опыт применения / В. Б. Кулагов, А. Е. Смирнов // Грани безопасности. – 2009. – № 1. – Режим доступа: <http://www.giricond.ru/files/izveshateli.pdf>.

8. ИоффелеД. Светить и видеть в темно-красном [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ioffeled.com/>.

9. Тупикина, Н. Ю. Способы построения трехканальной оптической системы с раздельными объективами каналов / Н. Ю. Тупикина, Е. В. Сыпин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2014. –

№ 6. – С. 143–148. – Режим доступа: [http://s-sibsb.ru/images/articles/2014/2\(6\)/42_143-148.pdf](http://s-sibsb.ru/images/articles/2014/2(6)/42_143-148.pdf).

10. Излучатель в виде модели абсолютно черного тела АЧТ-45/100/1100. Руководство по эксплуатации ДДШ 2.979.005 РЭ. – 26 с.

11. ГОСТ Р 53325-2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний. – Введен 01–01–2014. – М. : Стандартинформ, 2013. – 270 с.

Сидоренко А.И., к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел.: 8(3854)43-24-50, e-mail: sai@bti.secna.ru.

Лисаков С.А., инженер кафедры методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел.: 8(3854)43-24-50, e-mail: foxlsa@mail.ru.

Сыпин Е.В., к.т.н., доцент, профессор кафедры методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел.: 8(3854)43-24-50, e-mail: sev@bti.secna.ru.