

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО И УПАКОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 655.36:681.7

В. В. Шуляк, В. В. Ткаченко, С. Л. Канделинский, В. К. Ероховец

Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

РАЗРАБОТКА МЕТОДА И СРЕДСТВ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Разработана методология построения средств измерений для проведения сертификационных испытаний и тестирования инфракрасных устройств активного обнаружения в системах охраны труда при работе на полиграфическом оборудовании. Проанализированы требования к проверке характеристик временной чувствительности фотоэлектрических барьеров. Рассмотрены варианты структуры электромеханической подсистемы тестового стенда для тестирования времени реакции фотоэлектрических барьеров. Исследуется подсистема измерения времени реакции фотоэлектрического барьера на прерывание его лучей с помощью вращающегося тестового объекта, имитирующего нарушение границы опасной зоны.

Рассмотрены фрагмент эволюции методики испытаний, инструменты тестирования фотоэлектрических барьеров. Для двух последовательных модификаций имитатора нарушителя границы контролируемой временно опасной рабочей зоны приведен расчет геометрического профиля вращающегося тестового объекта и алгоритм управления системой для проверки времени реакции фотоэлектрического барьера. При этом для второй версии показаны преимущества секторной формы вращающегося тестового объекта и его характеристики по критерию упрощения теста. Разработаны программа и процедура тестирования, которая включает в себя измерение значений параметров фотоэлектрических барьеров, а также двухканальная система с эталонным и тестовым измерительными каналами, образованными соответственно лучом лазера с видимым диапазоном излучения и инфракрасным лучом фотобарьера.

Ключевые слова: безопасность оборудования, фотобарьер, контроль времени реакции, рабочая зона обнаружения.

V. V. Shulyak, V. V. Tkachenko, S. L. Kandelinskiy, V. K. Erokhovets

United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus

DEVELOPMENT OF METHOD AND MEANS OF TESTING OPTOELECTRONICS DEVICES FOR RESTRICTION OF ACCESS IN SYSTEMS SECURITY OF POLIGRAPHY EQUIPMENT

Developed the program and methodology, structure and characteristics of a set of measuring tools for carrying out certification tests and testing devices for infrared active detection components in job safety systems during work on printing equipment. The requirements for testing the characteristics of the time sensitivity of photoelectric barriers are analyzed. Considered the variants of the structure of the electromechanical system for response duration testing of photoelectric barriers. The subsystem for measuring the response time of the photoelectric barrier to interrupt its rays on the basis of a rotating test object imitating the finiteness of the "intruder" is investigated.

The fragment of the evolution of the program and the testing technique and testing instruments for photoelectric barriers is considered. The geometric profile calculation of the rotating test object and the system control algorithm for checking the reaction time of the photoelectric barrier are performed for two successive modifications of the imitator of the border intruder of the temporarily dangerous working area. It is shown that the derivation of the optimal shape of the rotating test object and its characteristics is optimal by the criterion of the test simplification. A program and testing procedure were developed including measurement of the overall values of the parameters of photoelectric barriers. Based on the laws of measuring systems evolution, hypotheses about the possibility of developing barriers that not only detect, but also exclude the physical penetration of the operator into the controlled area during the dangerous working stroke of the machine are considered.

Key words: safety of machinery, photoelectric barrier, response time testing, dangerous working area.

Введение. В полиграфическом производстве используются машины с подвижными рабочими органами: вырубные прессы, бумагорезальные, фальцевальные и другие машины, представляющие угрозу для жизни и здоровья людей, находящихся в опасных зонах. Для обеспечения безопасности такое оборудование должно удовлетворять конструктивным требованиям системы стандартов безопасности труда, в частности, оборудование, которое не имеет защитных ограждений, должно быть оснащено защитно-блокирующими устройствами, предотвращающими движение рабочих органов при нарушении персоналом границ опасной зоны [1–3]. К таким устройствам относятся однолучевые и многолучевые фотобарьеры инфракрасного (ИК) диапазона излучения – активные оптико-электронные устройства обнаружения посторонних объектов на границах зоны, приводящие в действие выключатели энергии или блокировку движения рабочего органа. Действующими стандартами устанавливаются требования к характеристикам таких устройств и виды испытаний, которым они должны подвергаться [4–6], но в них не конкретизируются методы и средства, которые могут применяться в испытаниях. Этот пробел призваны восполнить предлагаемые ниже технические решения для реализации целей проведения испытаний активных оптико-электронных защитных устройств (active optoelectronic protective devices – AOPD).

Основная часть. Метрологическое обеспечение является важной составной частью системы поддержки жизненного цикла AOPD как изделия производства. Помимо социального аспекта – сохранение жизни и здоровья людей – значимость метрологического обеспечения обусловлена экономическими факторами (поддержка конкурентоспособности) и инженерно-технической спецификой (AOPD рассматривается как достаточно сложное изделие и контрольно-измерительное средство). Разработка метода и средств проведения испытаний и сертификации AOPD проводилась авторами одновременно с созданием и внедрением на их основе систем обеспечения безопасности про-

мышленного оборудования на ряде предприятий Республики Беларусь.

Система тестирования. Основными показателями фотобарьеров (AOPD), согласно требованиям стандартов [5, 6], являются:

1) максимальное расстояние между блоками излучателей и приемников, при котором сохраняется работоспособность с пониженной (до 75%) относительно нормальных условий мощностью ИК-излучения;

2) расходимость пучка в пределах 5° или 10° для обеспечения условий безопасности ИК-излучения соответственно 4-го и 2-го классов;

3) разрешающая способность – минимальный размер перекрывающего ИК-лучи объекта, для которого срабатывает блокировка;

4) чувствительность, определяемая как минимальное время перекрытия ИК-луча, при превышении которого должно начаться формирование сигнала на выключение оборудования;

5) время реакции, в течение которого вырабатывается сигнал на выключение оборудования (блокировки).

Так как временем распространения световой волны можно пренебречь, формула для определения минимального расстояния S между границей контролируемой зоны и действующим оборудованием из условия безопасности и конечного времени реакции имеет вид:

$$S = V(t_1 + t_2 + t_3) + C,$$

где V – скорость передвижения объекта; t_1 – время реакции оптоэлектронных схем; t_2 – время срабатывания реле блокировки; t_3 – время торможения рабочего органа; C – дополнительное запасное расстояние.

Время реакции t_1 определяется главным образом задержкой формирования сигнала блокировки при его аналого-цифровой обработке и передаче по электрическим цепям, но в общем случае зависит от расстояния между излучателями и приемниками, а также от влияния изменений внешнего освещения. Последние два фактора определяют уровень освещенности в спектральном диапазоне чувствительности приемника, поэтому в случае недостаточно

крутой характеристики фотоэлектрического преобразования уменьшение освещенности, в том числе при повышенной дальности, дает дополнительную задержку сигнала блокировки.

Современная оптоэлектроника предоставляет возможности выбора быстродействующих элементов с высокой чувствительностью и высокой мощностью излучения при требуемой расходимости пучка, тем самым позволяет реализовать короткие фронты импульсных переходных процессов в оптоэлектронных схемах фотобарьеров. Эти обстоятельства позволяют в современных конструкциях фотобарьеров получать высокие значения предельных параметров по надежности обнаружения, разрешению и размерам контролируемой зоны за счет использования модулированного ИК-излучения с заполнением его импульсов сигналом несущей частоты (~36 КГц), организации нескольких каналов с их временным, частотным или кодоимпульсным разделением для многолучевого устройства [3, 6]. Высокое быстродействие таких устройств, достигаемое с применением в них функционально ориентированных интегральных микросхем для модулирования и демодулирования оптических сигналов, сглаживает проблемы проведения их испытаний – тестирование показателей по пространственным (1, 2 и 3) и временным (4 и 5) параметрам могут выполняться независимо.

Одновременно с указанными могут проверяться также показатели надежности:

- вероятность ложных срабатываний устройства, или ошибка 1-го рода.
- вероятность пропуска – «несработка», или ошибка 2-го рода.

Недостаточная устойчивость в части формирования ложных тревог выявляется при испытаниях фотобарьера в условиях дополнительных помех, как электрических, так и световых. При наличии резервов по быстродействию проблема может сниматься технически путем введения процедуры принятия решения о блокировке в течение нескольких (≥ 2) циклов опроса каналов. В таких случаях ложные срабатывания возможны, если помеха окажется синхронизирована с циклом опроса.

После решения задачи по минимизации вероятности ложной тревоги в соответствии с принятым в системах обнаружения сигналов критерием Неймана – Пирсона необходимо снижать вероятность пропуска цели. Возможны несколько причин пропуска. Среди них – засветки фотоприемника отражениями от различных поверхностей излучения «собственного» излучателя канала – внешних и внутренних отражателей.

Влияние могут оказывать внешние отражатели, располагающиеся на поверхностях семейства вложенных эллипсоидов (общие для них фокусы совпадают с координатами излучателя

и приемника) [7]. Для зоны чувствительности, симметрично ограниченной диаграммами направленности приемника и излучателя, влияние на ошибочный пропуск объекта оказывают только такие поверхности, которые удовлетворяют условию (верхняя оценка) $l_T \leq y \leq D_M$, где y – длина малой полуоси эллипсоида; l_T – размер сечения объекта; D_M – наибольший диаметр зоны чувствительности.

При внутренних отражениях имеет место засветка фотоприемника (при его непосредственном затенении) отражениями через апертуры соседних каналов. Задача решается введением оптических волноводов и поглощающих ИК-излучение покрытий внутри корпуса приемника.

Общая схема испытательного стенда для систем контроля доступа с многолучевым фотобарьером показана на рис. 1.

Стенд включает оптически сопряженные между собой излучатель (передатчик) и приемник ИК-излучения, лазер и фотоприемник его красного излучения, осветительные приборы и источники питания различных типов. Блоки фотобарьера закреплены на поворотных столиках, установленных на оптической скамье. Кроме того, на скамье установлен привод с вращающимся тестовым объектом для проверки временных показателей.

Проверки по отдельным пунктам выполняются выбором необходимых источников питания и осветителей согласно программе и методикам испытаний. При оценке значений пространственных показателей (п. 1–3) используются механизмы угловых и линейных перемещений излучателя и приемника фотобарьера относительно друг друга.

Согласно требованиям стандарта [5, 6] временные показатели (п. 4 и 5) проверяются с использованием тестового объекта в виде непрозрачного тела с определенными размерами, соответствующими расстоянию между лучами фотобарьера (разрешающей способности).

Стандарт не определяет способ перемещения тела и тем более не определяет способ временной фиксации перекрытия им ИК-лучей. С целью автоматизации процесса испытаний эти перемещения должны быть механизированы, а момент перекрытия луча должен фиксироваться автоматически.

Среди вариантов привода для поступательного или возвратно-поступательного линейного перемещения тестового объекта могут быть использованы моторизованные тележки, кривошипно-шатунные механизмы, маятниковые подвесы и т. п. Такие варианты представляются неоправданно сложными по сравнению с вращающейся крыльчаткой, которая своими лопастями могла бы перекрывать луч фотобарьера.

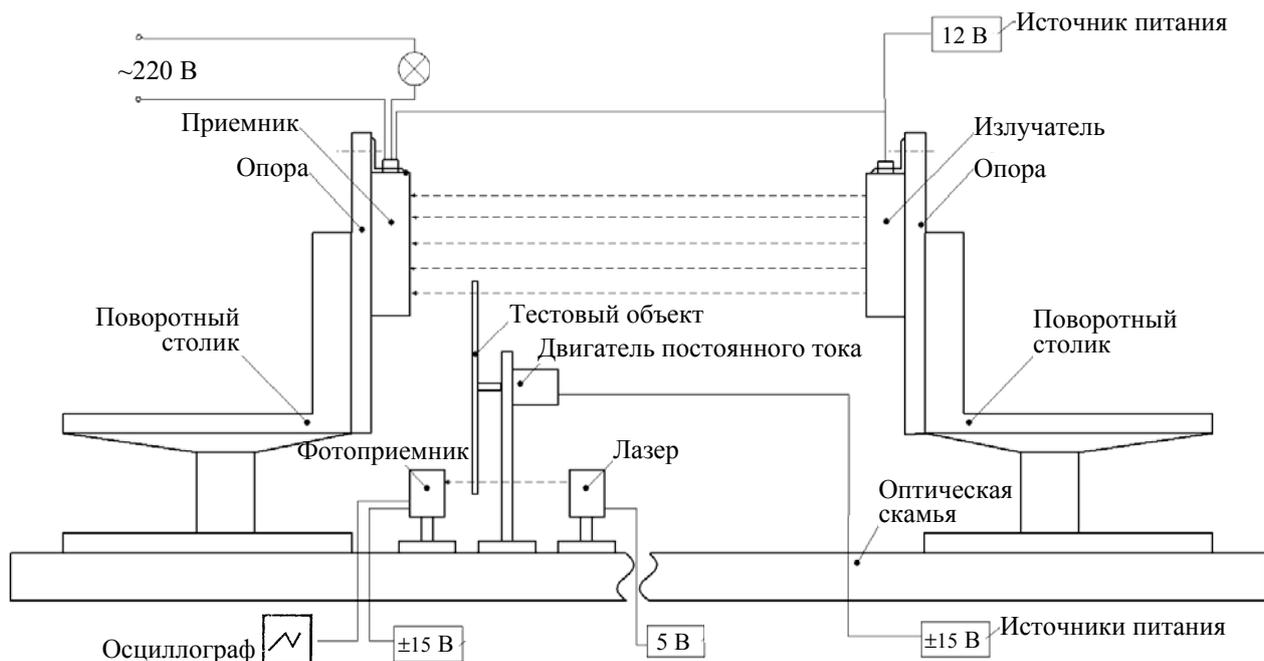


Рис. 1. Стенд для проведения испытаний фотобарьеров

Общая задача для всех указанных вариантов перемещений объекта состоит в определении момента, когда он перекрывает луч тестируемого фотобарьера. И лишь потом следует определение времени реакции, которая может быть зафиксирована измерительным прибором, подключенным, например, к выходу блокировки.

Одним из типовых решений этой задачи является введение в систему дублирующей модели как некоторого аналога тестируемого устройства – фотобарьера. Эта модель, с одной стороны, должна иметь длительность времени реакции пренебрежимо малую по сравнению с временем реакции тестируемого устройства, а с другой стороны – определять длительность пересечения луча тестируемого устройства эталонным объектом. В качестве такой модели можно использовать оптически связанные лазерный источник и фотоприемник с малым временем переключения логического выхода с низкого уровня на высокий и обратно. При этом короткие фронты импульсов модельного канала (1–2 мс и менее) должны обеспечиваться малым поперечным сечением лазерного луча, а тестовый объект должен синхронно перекрывать как лазерный луч, так и луч тестируемого устройства.

Исходя из этих соображений реализована система тестирования времени реакции опико-электронного устройства в составе испытательного стенда. Система содержит оптически сопряженные между собой источник лазерного излучения 0,66 мкм, приемник лазерного излучения, тестовый объект в виде пластины пря-

моугольной формы. Пластина, закрепленная своим центром на оси двигателя, приводится во вращение и синхронно перекрывает лазерный луч и ИК-луч фотобарьера. С помощью времяизмерительного прибора (в частности, двухканального осциллографа) регистрируются моменты начала и окончания перекрытия лучей, а также сигнала блокировки.

Расчет времени реакции. Время реакции фотобарьера необходимо определять суммой двух временных интервалов (с учетом их знаков): между началами перекрытия лучей и между началом перекрытия лазерного луча и сигналом блокировки (рис. 2).

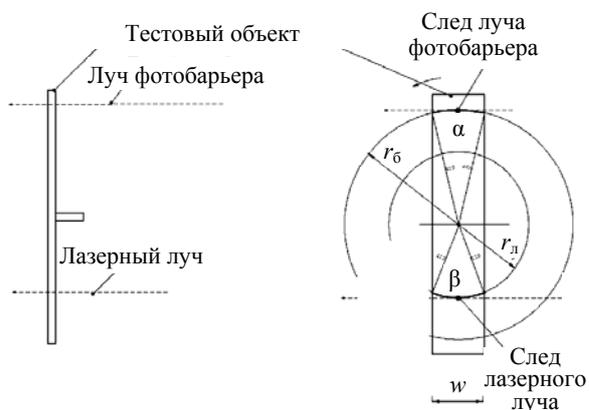


Рис. 2. Схема пересечения вращающегося тестового объекта лучами фотобарьера и лазера

Время перекрытия для вращающегося с частотой f тест-объекта шириной w в зависимости от расстояния r между его центром враще-

ния и точкой пересечения с лучами определяется как

$$t = w' / (2\pi fr), \quad (1)$$

где $w' = 2r \arcsin(w / 2r)$ – длина дуги, которую проходит лазерное пятно по вращающемуся тестовому объекту шириной w . Для дуги с радиусом $r_{\text{л}}$, которую описывает световое пятно на тестовом объекте от лазерного луча, время его перекрытия

$$t_{\text{л}} = w' / (2\pi fr_{\text{л}}). \quad (2)$$

Для дуги с радиусом $r_{\text{ф}}$, проходящей в месте пересечения тестовым объектом выбранного луча фотобарьера, которое определяется по линии визирования между соответственными апертурами излучателя и приемника этого луча:

$$t_{\text{ф}} = w' / (2\pi fr_{\text{ф}}). \quad (3)$$

При малых угловых размерах дуг время $t_{\text{ф}}$ пересечения луча барьера тестовым объектом приближенно определяется из формул (1), (2) и (3) как

$$t_{\text{ф}} = t_{\text{л}} r_{\text{л}} / r_{\text{ф}}. \quad (4)$$

Обозначая $1/k = r_{\text{л}} / r_{\text{ф}}$, получим

$$t_{\text{ф}} = t_{\text{л}} / k. \quad (5)$$

Возможны следующие случаи расположения точек пересечения лучей относительно центра вращения: симметричное ($r_{\text{л}} = r_{\text{ф}}$, $k = 1$) и асимметричное ($r_{\text{л}} < r_{\text{ф}} \rightarrow k > 1$ или $r_{\text{л}} > r_{\text{ф}} \rightarrow k < 1$). Для асимметричного возможны два варианта расположения пятен на тестовом объекте, пересекающем лучи: либо по одну сторону от центра вращения тестового объекта, либо по обе стороны от центра.

Выбор между этими случаями зависит от конкретной конструкции стенда, например, для варианта, показанного на рис. 2: $r_{\text{л}} = 10,3$ см, $r_{\text{ф}} = 17,5$ см, $r_{\text{л}} < r_{\text{ф}}$ и, соответственно, $k = 1,7$. В любом случае в ходе испытаний требуется измерение и контроль расстояний $r_{\text{л}}$ и $r_{\text{ф}}$.

Такая схема проверки времени реакции предусматривает, что непосредственному измерению подлежит интервал времени прерывания тестовым объектом эталонного лазерного канала. Поэтому для заданного (проверяемого) времени реакции $t_{\text{ф}}$ равенство (5) должно быть заменено на обратное:

$$t_{\text{л}} = kt_{\text{ф}}. \quad (6)$$

В рассматриваемом примере в соответствии с методом измерений и периодом отсчетов, равным примерно 70 мс, получаем время прерывания лазерного луча согласно формуле (6): $t_{\text{л}} = 1,7 \cdot 10 = 17$ мс. Это время соответствует перекрытию луча фотобарьера на время не

меньше 10 мс, заданное требованием стандарта. Если фотобарьер отключает контрольный индикатор, имитирующий блокировку оборудования, то время реакции считается достаточным.

Указанные соотношения отражены на временной диаграмме рис. 3. Начальные моменты времени пересечения (перекрытия) тестовым объектом лазерного луча и луча фотобарьера показаны на совмещенной диаграмме рис. 3, а (окончания пересечения луча лазера – сплошной линией, а луча фотобарьера – пунктирной). Реакция приемника эталонного канала показана на диаграмме рис. 3, б. Реакция фотобарьера имеет место только при превышении интервала τ времени перекрытия луча, больше заданного интервала времени t_0 (диаграмма на рис. 3, в).

Недостатком рассмотренной схемы измерения времени реакции является необходимость тщательного измерения расстояний между точками пересечения тестового объекта осевыми направлениями лучей лазера и фотобарьера. Если наблюдаемый след от лазерного луча может быть соотнесен достаточно точно с центром вращения объекта, то определить положение невидимого пятна от ИК-излучения затруднительно. Кроме того, для получения косвенной оценки требуется проведение несложного расчета.

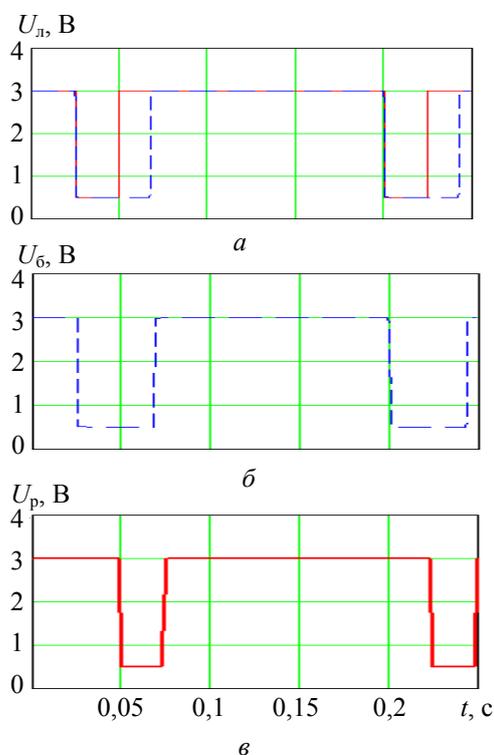


Рис. 3. Осциллограммы сигналов при перекрытии лучей прямоугольным тестовым объектом: а – для лазерного луча; б – для двух лучей; в – для реакции приемника фотобарьера

С целью преодоления указанных недостатков сформулируем задачу, направленную на достижение желаемого «идеального конечного результата» (ИКР): длительность перекрытия луча эталонного канала должна быть равна длительности перекрытия тестируемого луча фотобарьера и соответствовать контрольному значению установленного стандартом порога. При этом сигнал эталонного канала может сам служить индикатором порогового соответствия времени реакции.

Задача решается в двухканальной измерительной системе тестирования времени реакции оптико-электронного устройства контроля доступа в опасную зону. Система содержит оптически сопряженные с фотобарьером источник и приемник лазерного излучения, вращающийся тестовый объект, установленный на оси двигателя, измеритель времени перекрытий лазерного луча и луча тестируемого фотобарьера; причем тестовый объект имеет форму «равновременного» профиля.

Расчет профиля тестового объекта. «Равновременной» профиль получается из следующих построений.

Введем требование $t(r) = \text{const} = t_0$. Тогда формула (1) переписывается как

$$w' = 2\pi f r t_0 = r\alpha, \quad (7)$$

где $2\pi f t_0 = \alpha$.

Соответственно, ширина

$$w = 2r \sin \alpha. \quad (8)$$

Ограничиваясь двумя членами разложения $\sin \alpha$ в ряд, получим

$$w = 2r(\alpha - \alpha^3/6). \quad (9)$$

При $\alpha \leq 0,3$ ширину профиля тестового объекта можно с погрешностью меньше 0,01 считать линейной функцией радиуса r (рис. 4).



Рис. 4. Профиль «равновременного» тестового объекта с секторным профилем

Преимущество такого профиля перед прямоугольным состоит в том, что с его использованием не требуется пересчет времени, а также измерение расстояний между точками (линиями) перекрытия лучей и центром вращения тест-объекта.

Предложенная форма тестового объекта позволяет модифицировать метод проверки показателя. В новом варианте время прерывания луча лазера $t_{\text{л}}$ устанавливается как заданное в

соответствии с формулой (6): $t_{\text{л}} = 10$ мс. Как показано на рис. 5, луч фотобарьера перекрывается на такое же, проверяемое, время реакции: $t_0 = t_{\text{л}} = 10$ мс.

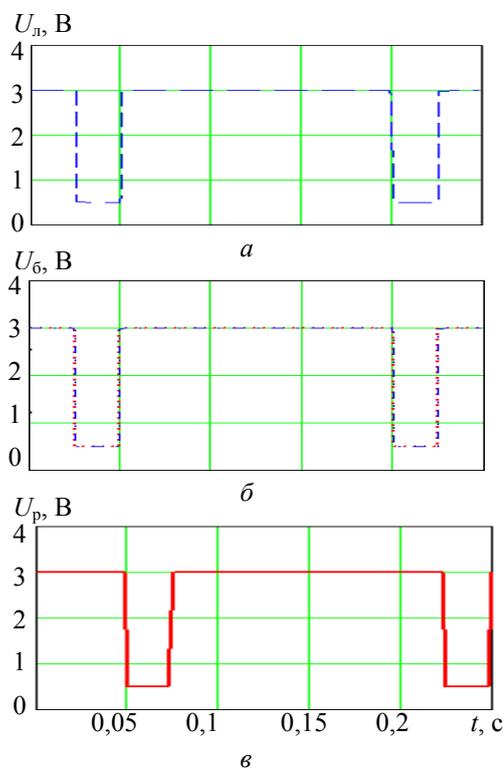


Рис. 5. Осциллограммы сигналов при перекрытии лучей секторным тестовым объектом: а – для лазерного луча; б – для двух лучей; в – для реакции приемника фотобарьера

Однако секторная форма тестового объекта гарантирует только равенство интервалов перекрытия лучей, но не равенство их интервалу временной задержки реакции приемной части фотобарьера. Такая задача может быть решена с использованием компенсационной схемы измерения, в которой длительность перекрытия лазерного луча регулируется, например, за счет изменения скорости вращения тест-объекта. Электронный миллисекундомер, который фиксирует длительность этого перекрытия, включает свой таймер по фронту импульса с выхода лазерного эталонного канала, а выключает по фронту импульса с выхода фотобарьера. Рассогласование этой длительности с реальным значением времени реакции используется для измерения скорости вращения. Если начало импульса с выхода фотобарьера раньше момента окончания импульса с выхода эталонного канала, то скорость вращения должна уменьшаться, если совпадает или позже момента – увеличиваться.

Рассматриваемая система регулировки скорости вращения с такой обратной связью относится к классу систем с фазовой автоподстройкой

кой частоты, для расчета параметров регулятора и показателей качества системы могут быть применены методы теории автоматического регулирования [8]. Форма тестового объекта, рассчитываемая по формулам (7)–(9) и показанная на рис. 4, обеспечивает согласование по длительности интервалов перекрытия (рис. 5), но позволяет работать с ошибками рассогласования только одного знака. Для установления нужного диапазона работы регулятора необходимо сформировать на входе элемента рассогласования уставку либо в виде ненулевого значения на выходе фазового дискриминатора, либо в виде тест-объекта с несколько расширенной относительно расчетного значения (рис. 4) областью перекрытия лазерного луча, такой, чтобы это перекрытие было несколько дольше, чем время перекрытия контролируемого луча.

На рис. 6 приведен возможный алгоритм реализации закона регулирования в цифровой системе. Соответствие времени реакции испытываемого образца проверяется по состоянию индикатора, который имитирует блокировку оборудования. Если фотобарьер выключает контрольный индикатор, то время реакции считается достаточным.

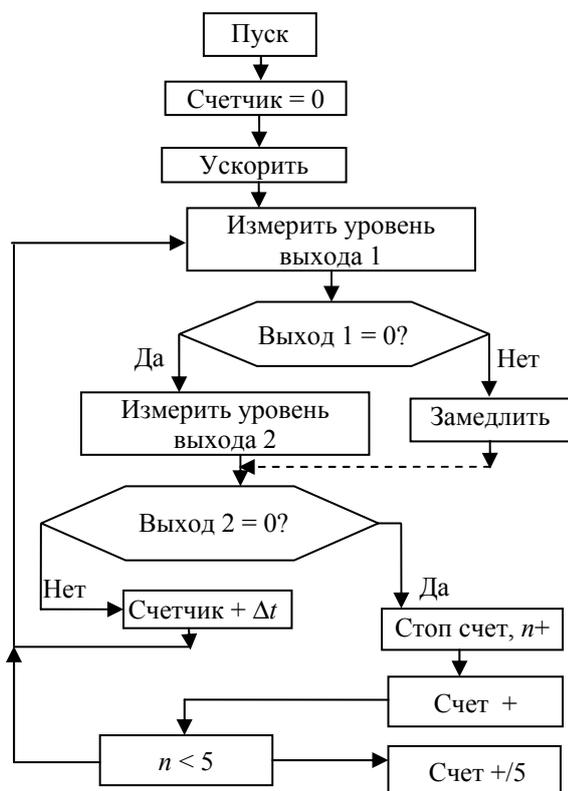


Рис. 6. Алгоритм контроля времени реакции

Заключение. Показаны ключевые особенности проведения испытаний и проверки пространственно-временных показателей активных оптоэлектронных защитных устройств, пре-

дусмотренных стандартами в области безопасности оборудования. Разработан по результатам анализа метод проверки времени реакции однолучевого или многолучевого фотобарьера на перекрытие его ИК-лучей при контроле доступа в зоны повышенной опасности. Предложены средства для практической реализации метода в системе, содержащей оптически сопряженные между собой источник и фотоприемник лазерного излучения, тестовый объект с вращающим его приспособлением, блок управления, устройство измерения времени прерывания лазерного луча и луча тестируемого оптоэлектронного устройства.

Получены расчетные выражения и проведен анализ вариантов использования тестовых объектов с прямоугольным и секторным профилями. Тестовый объект, профиль которого имеет секторы с их боковыми сторонами, образующими угол меньше 0,3 рад, является «равновременным», т. е. обеспечивает перекрытие эталонного и тестируемого лучей на одинаковый промежуток времени и позволяет с помощью времяизмерительных приборов определять в соответствии с их погрешностями время реакции и чувствительность фотобарьеров без необходимости дополнительной юстировки или контроля положения лучей относительно оси вращения тест-объекта. Исключается также необходимость косвенных расчетов для проверки соответствия временных показателей фотобарьера требованиям стандарта.

На основе разработанного метода проведения испытаний с эталонным каналом контроля положения «равновременного» тестового объекта предложена система регулирования и алгоритм ее работы для реализации компенсационной схемы контроля времени реакции, не требующей использования времяизмерительных приборов. Системой реализуется электронный миллисекундомер или его программный аналог с помощью фазовой времяимпульсной автоподстройки скорости вращения тест-объекта за счет следящей обратной связи, которая обеспечивает совмещение момента окончания перекрытия тест-объектом эталонного лазерного луча с передним фронтом сигнала блокировки с выхода фотобарьера. В этом случае длительность перекрытия эталонного канала соответствует времени реакции фотобарьера.

Разработанные метод и средства расширяют возможности практического решения вопросов, связанных с автоматизацией процессов контроля и сертификации оптоэлектронных защитных устройств для систем контроля доступа и обеспечения безопасности производственного оборудования. Результаты разработки могут

быть использованы при создании контрольно-измерительных комплексов и испытательных стендов для ряда образцов безопасного оборудования, а также метрологических средств в силу того, что защитные устройства контроля доступа представляют собой системы обнаружения и измерения. Введение функций самотестирования АОРД и оснащение их вычислительными средствами высокой производительности с возможностью оперативной передачи

данных исследований и измерений по локальным и глобальным компьютерным сетям лежит в русле развития виртуальных информационно-измерительных систем, что в перспективе означает трансформацию измерительной системы, функцию которой должна взять на себя непосредственно исполнительная система, т. е. та, от которой надо защищать оператора. Возможные варианты – полная автоматизация и роботизация полиграфического производства.

Литература

1. Вирченко А. И., Колонтай И. И. Печатное оборудование. Минск: БГТУ, 2004. 234 с.
2. Система стандартов безопасности труда. Производство полиграфическое. Процессы печатные. Требования безопасности. Основные положения: СТБ 1533-2005. Введ. 28.04.2005. Минск: БелГИСС, 2005. 21 с.
3. Разработка световых барьеров/завес для защиты работников от травматизма в полиграфической промышленности / Н. Н. Брашко [и др.] // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. 2009. Вып. XVII. С. 45–49.
4. Система стандартов безопасности труда. Оборудование: полиграфическое. Требования безопасности и методы испытаний. ГОСТ Р 12.2.133-97. Введ. 16.10.1997. М.: Изд-во стандартов, 1997. 16 с.
5. IEC 61496-2:2013 – Safety of machinery – Electro-sensitive equipment. Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic protective devices (AOPDs).
6. Устройства обнаружения оптико-электронные активные. Общие технические требования и методы испытаний: СТБ П 1965-2009 (IEC 60839-2-3:1987). URL: http://uiip.bas-net.by/structure/l_kg/STB_P_IEC_60839-2-3.pdf (дата обращения 13.04.2017).
7. Проектирование фотобарьеров для систем обеспечения безопасности труда на технологическом оборудовании полиграфического производства / Н. Н. Брашко [и др.] // Труды БГТУ. 2011. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 91–96.
8. Шахгильдян В. В., Ляховкин А. А. Системы фазовой автоподстройки частоты. М.: Связь, 1972. 446 с.

References

1. Virchenko A. I., Kolontay I. I. *Pечатное оборудование* [Printing Equipment]. Minsk, BGTU Publ., 2004. 234 p.
2. STB 1533-2005. The system of occupational safety standards. The production of printing. The process of printing. Safety requirements. The main provisions. Minsk, BelGISS Publ., 2005. 21 p. (In Russian).
3. Brashko N. N., Shulyak V. V., Yudaeva L. A., Melekh O. V. Development of light barriers/curtains to protect workers from injuries in the printing industry. *Trudy BGTU*. [Proceedings of BSTU]. Series IX, Printing and Publishing, 2007, issue XVII, pp. 45–49 (In Russian).
4. GOST R 12.2.133-97. Occupational safety standards system. Poligraphic equipment. Safety requirements and test methods. Moscow, Izdatel'stvo Standartov Publ., 1997. 16 p. (In Russian).
5. IEC 61496-2:2013 – Safety of machinery – Electro-sensitive equipment. Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic protective devices (AOPDs).
6. IEC 60839-2-3:1987. Alarm systems. Part 2: Requirements for intruder alarm systems. Section Three: Requirements for infrared-beam interruption detectors in buildings. Available at: <https://webstore.iec.ch/publication/18056> (accessed 13.04.2017).
7. Brashko N. N., Kandelinskiy S. L., Kuznechik O. O., Tkachenko V. V., Shulyak V. V. The development of light barrier for safety systems of printing production equipment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 9: Printing and Publishing, pp. 91–96 (In Russian).
8. Shakhgildyan V. V., Lyakhovkin A. A. System phase-locked loop. Moscow, Svyaz Publ., 1972. 446 p.

Информация об авторах

Шуляк Виктор Викторович – научный сотрудник. Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6, Республика Беларусь). E-mail: beambarrier@tut.by

Ткаченко Вадим Викторович – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией компьютерной графики. Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6, Республика Беларусь). E-mail: tkach@newman.bas-net.by

Канделинский Сергей Львович – научный сотрудник. Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6, Республика Беларусь). E-mail: beambarrier@tut.by

Ероховец Валерий Константинович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник. Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6, Республика Беларусь). E-mail: erokhovets@newman.bas-net.by

Information about the authors

Shulyak Viktor Viktorovich – researcher. United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: beambarrier@tut.by

Tkachenko Vadim Viktorovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of Computer Graphics Laboratory. United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tkach@newman.bas-net.by

Kandelinskiy Sergey Lvovich – researcher. United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: beambarrier@tut.by

Erokhovets Valeriy Konstantinovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher. United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: erokhovets@newman.bas-net.by

Поступила 17.08.2017