

ОХРАНА ТРУДА В ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 655.36:681.7

Брашко Н. Н., начальник управления производственно-технического развития (Министерство информации Республики Беларусь); **Канделинский С. Л.**, научный сотрудник (ОИПИ НАН Беларуси); **Кузнечик О. О.**, научный сотрудник (ОИПИ НАН Беларуси); **Ткаченко В. В.**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией (ОИПИ НАН Беларуси); **Шуляк В. В.**, научный сотрудник (ОИПИ НАН Беларуси)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФОТОБАРЬЕРОВ ДЛЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрены вопросы технико-экономического анализа и выбора конструкторских решений при проектировании активных оптоэлектронных устройств обнаружения для систем обеспечения безопасной работы с полиграфическим оборудованием. Дано обоснование выбора между светоизлучающими и лазерными диодами в конструкциях фотобарьеров. Представлены технические характеристики, алгоритмы работы и структурно-функциональные схемы фотобарьеров, обладающих повышенной помехозащищенностью в условиях засветок от случайных внешних отражателей.

The election and value engineering of design solutions of opto-electronic active infrared-beam interruption detectors for safety of polygraphic machinery are considered. A justification of the use of light-emitting and laser diodes in IR beam barrier are given. Algorithms, functional structures and performance of IR beam barrier with enhanced immunity against correlated accidental light flows has been presented.

Введение. Конструктивной особенностью некоторых типов полиграфического оборудования (вырубные прессы, бумагорезальные машины, фальцевальные, ниткошвейные и различные печатные машины) является то, что они содержат механизмы с режущими и ударными инструментами, которые создают опасные рабочие зоны для обслуживающего персонала [1, 2]. Безопасность труда на таком технологическом оборудовании обеспечивается загряздающими и(или) блокировочными устройствами, предупреждающими соприкосновение людей с данными инструментами. При этом зачастую автоматическая остановка привода или блокировка запуска технологического оборудования является наиболее эффективным или единственно возможным способом предотвращения травм. В таких системах в качестве датчиков нарушения границ опасной зоны используются активные оптоэлектронные устройства обнаружения – фотобарьеры [3]. Надежность систем безопасности на основе фотобарьеров определяется не только диапазоном пространственной и временной чувствительности к объектам, попадающим в рабочую зону, но и чувствительностью к изменению условий освеще-

ния, переотражениям световых лучей и попаданию посторонних световых потоков на оптические входы фотобарьеров.

Целью работы является поиск технических решений при проектировании фотобарьеров, снижающих вероятности пропусков при случайном попадании внешних световых потоков на оптические входы для повышения надежности системы защиты.

Основная часть. 1. *Расчет основных характеристик фотобарьеров.* Для ограничения опасных производственных зон в системах безопасности труда используют однолучевые или многолучевые фотобарьеры [4, 5]. Основными конструктивными блоками таких устройств являются оптический излучатель, фотоприемник, блок управления, устройства оповещения и исполнительное реле (рис. 1).

При проектировании основных конструктивных компонентов фотобарьера — оптического излучателя и фотоприемника, учитываются мощность и интенсивность излучения, чувствительность, диаграммы направленности распространения и приема потоков оптического излучения. Интенсивность излучения в точке на расстоянии r от излучателя в пределах диа-

граммы направленности [6] оценивается с помощью выражения:

$$I_s = \frac{P_s}{4\pi r^2}, \quad (1)$$

где I_s — интенсивность излучения в направлении приемника в свободном пространстве; P_s — полная мощность излучателя; r — расстояние между излучателем и приемником. Действие фокусирующей системы учитывается с использованием уравнения:

$$I = I_s \frac{n_{air}^2}{n_s^2} \cos \alpha, \quad (2)$$

где I — интенсивность излучения, прошедшего через фокусирующую систему в направлении приемника; n_{air} — показатель преломления воздуха; n_s — показатель преломления материалов излучателя или фокусирующей системы; α — угол прихода светового луча. С помощью (1) и (2) проводится оценка интенсивности излучения в пределах диаграмм направленности излучателя и фотоприемника, определяющих зону чувствительности фотобарьера (рис. 2).

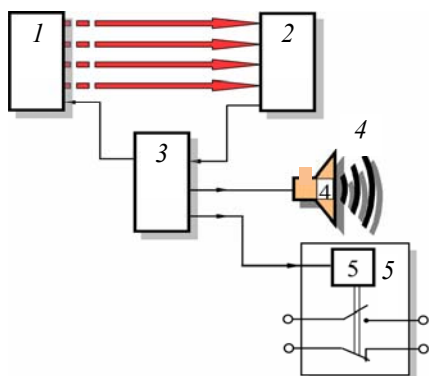


Рис. 1. Схема фотобарьера:

- 1 — излучатель; 2 — фотоприемник;
3 — блок управления; 4 — оповещатель;
5 — исполнительное реле

В работах [4, 5] предлагается применять кодоимпульсные посылки оптического излучения как средство обеспечения устойчивой работы фотобарьера, в том числе и в условиях случайных засветок.

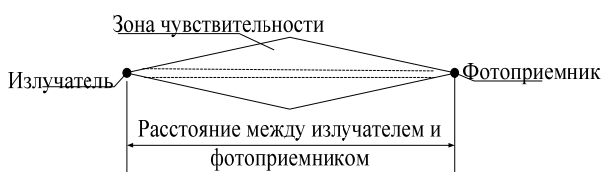


Рис. 2. Схема распространения и приема потока оптического излучения в фотобарьере

В этом случае на стадии проектирования фотобарьеров рекомендуется использовать алгоритмы работы, в которых применяются операции сравнения генерируемой оптическим излучателем и принимаемой фотоприемником кодоимпульсной посылки оптического излучения. На основе результатов сравнения принимаются решения по оповещению, а также остановке или блокировке запуска технологического оборудования. Для реализации приведенных алгоритмов в конструкции блока управления рекомендуется применять микроконтроллерные системы, содержащие запоминающие устройства с соответствующими программами генерации и сравнения кодоимпульсных посылок оптического излучения.

Однако для фотобарьеров, построенных по схеме на рис. 1 и 2, вероятность пропуска может увеличиваться из-за засветок, вызванных появлением в зоне чувствительности случайных отражающих поверхностей, расположенных, например, так, как показано на рис. 3.

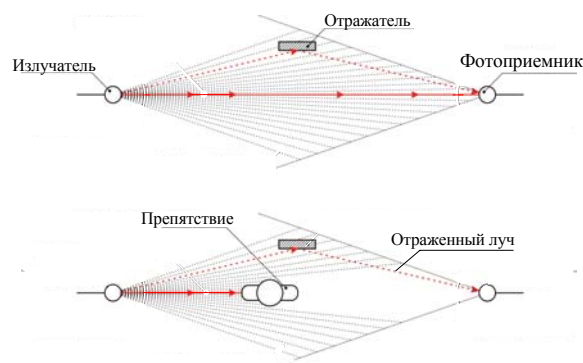


Рис. 3. Засветка фотобарьера дополнительным лучом от случайного отражающего объекта (а), засветка маскирует прерывание прямого луча (б)

В этом случае могут возникать ситуации, когда при пересечении границы опасной производственной зоны оптически непрозрачным объектом (например, какой-нибудь частью тела обслуживающего персонала) совпадение излученной и принятой кодоимпульсной посылки излучения не происходит [7]. Такая ситуация может быть описана математической моделью многолучевого канала связи [8], адаптированной для случая однолучевого фотобарьера, работающего в условиях множества лучей от внешних отражателей. При этом модель сигнала на входе фотоприемника может быть описана комбинацией модели многолучевого канала связи и уравнения радиосвязи [9] с модифицированной функцией пропускания канала. Модификация функции пропускания канала учитывает тот факт, что перекрытие луча является дополнительным случайным мульти-

пликативным пространственно-временным воздействием на сигнальную посылку. Далее это дополнительное мульти-пликативное воздействие называется функцией прерывания. Таким образом, модель сигнала на входе фотоприемника принимает вид:

$$P(t) = P_s A_{pr} \sum_{l=1}^L M_l(t - \tau_{M_l} - m_l T) \mu_l(t) R_l^{-2} \times \sum_{k=0}^{N-1} s_{lqk}(t - \tau_l - kT) + \xi(t), \quad 0 < t < \infty, \quad (3)$$

где $P(t)$ — функция, описывающая суммарную мощность излучения на апертуре фотоприемника; P_s — мощность излучения излучателя; A_{pr} — площадь апертуры фотоприемника; L — число лучей (прямых и отраженных), входящих в апертуру фотоприемника; $\mu_l(t)$ — коэффициент передачи l -го луча. Причем пространственно-временная модуляция каждого из l лучей суммарного сигнала (3) описывается функцией прерывания $M_l(t - \tau_{M_l} - m_l T)$:

$$M_l(t - \tau_{M_l} - m_l T) = 1 - \text{In}(t) \text{rect}[x];$$

$$\text{rect}[x] = \begin{cases} 1, & x = t - \tau_l, t - \tau_l - m_l T, \\ 0, & x \neq t - \tau_l, t - \tau_l - m_l T, \end{cases}$$

где m_l — количество прерванных элементарных оптических сигналов s_{lqk} длительностью T ; τ_{M_l} — момент времени перекрытия l -го луча; $\text{In}(t)$ — дискретный случайный процесс со значениями (0, 1), характеризующий прерывание луча l с некоторым распределением, например Пуассона, и с параметрами, определяемыми из конкретных условий производства; $\mu_l(t) = \exp(-aR_l)$ — коэффициент передачи l -го луча, где a — коэффициент ослабления сигнала при прохождении через среду; R_l — длина l -го канала; N — число элементарных оптических сигналов s_{lqk} в кодоимпульсной посылке; $s_{lqk}(t - \tau_l - kT)$ — нормированная функция, описывающая элементарный сигнал от излучателя длительностью T , зависящая от индекса q так, что

$$\sum_{l=1}^L s_{lqk}(t) < 1, \quad s_{qk}(t) = \begin{cases} s_{1k}(t), & q = 1, \\ 0, & q = 2; \end{cases}$$

τ_l — время задержки l -го луча относительно момента начала передачи кодоимпульсной последовательности, проходящего на вход фотоприемника; ξ — мощность аддитивных помех.

Рассмотрим случай, когда на вход фотоприемника действуют только прямой и один отраженный лучи. То есть в (3) примем $L = 2$, отношение сигнал — шум $(P(t) - \xi)/\xi \gg 1$, $\tau_l \ll T$, $R_1 = R_2 = R$, $m_1 = m_2 = m$, $\mu_1 = \mu_2 = \mu$. Таким образом, модель сигнала на входе фотоприемника для двухлучевого канала без шума принимает вид:

$$P(t) = P_s A_{pr} \mu(t) R^{-2} \alpha^{-2} [M_1(t - \tau_{M_1} - mT) \times S_1(t) + M_2(t - \tau_{M_2} - mT) S_2(t)], \quad (4)$$

где α — ширина диаграммы направленности излучателя;

$$S_2(t) = \sum_{k=0}^{N-1} s_{2qk}(t - kT) \quad S_1(t) = \sum_{k=0}^{N-1} s_{1qk}(t - kT).$$

Функция прерывания $M_l(t - \tau_{M_l} - mT)$ действует в текущем временном интервале T только на сигналы своего луча и не действует на сигналы другого луча.

Избежать засветок, вызванных внешними отражателями, можно с помощью коллиматоров как излучателей, так и фотоприемников, а также при использовании источников излучения с узкой диаграммой направленности (например, вместо светодиодов можно использовать лазерные диоды) [6, 7, 9]. Однако в этом случае при проектировании фотобарьеров необходимо учитывать ужесточение требований к точности юстировки излучателя и фотоприемника относительно друг друга при установке их на границе опасной производственной зоны. Кроме этого, могут возникать ситуации, когда для перекрытия одной и той же опасной производственной зоны потребуется большее количество фотобарьеров с узконаправленным излучением, чем фотобарьеров с относительно широко-направленным оптическим излучением. Выбор между светодиодными или лазерными фотобарьерами может быть обоснован и экономической эффективностью в отношении стоимости обеспечиваемой дальности. Провести оценку экономической эффективности применения фотобарьеров, использующих узкую диаграмму направленности излучения, характерную для лазерных светодиодов и светодиодов с относительно широкой диаграммой направленности, можно с помощью полученных на основании анализа работ [5, 6, 10] следующих зависимостей вида $C_b = F_b(C_{bi})$:

$$C_1 = C_{11} + C_{12} + C_{13} + \dots + C_{1n}; \quad (5)$$

$$C_2 = C_{21} + C_{22} + C_{23} + \dots + C_{2n}, \quad (6)$$

где C_b — стоимость фотобарьера как функция F_l от стоимостей C_{bi} компонентов и некоторых эксплуатационных расходов; $b = 1$ соответствует фотобарьеру на основе светодиодов; $b = 2$ соответствует фотобарьеру на основе лазерных диодов; $C_{b,1} \sim k_{b1} n R^2 \alpha_b^2 / \eta_b$ — стоимость излучателя типа b ; $k_{b1} = f(P_{b\min})$ — удельная стоимость (с размерностью [рубль·м⁻²·рад⁻²]) излучателя типа b с минимальной потребляемой мощностью $P_{b\min}$ для контролируемой единичной длины и ширины диаграммы направлен-

ности; n — число каналов фотобарьера; R — контролируемая длина; α_b — ширина диаграммы направленности излучателя; η_b — КПД излучателя; $C_{b,i+1}$ — стоимость других компонентов: $C_{b,2}$ — оптика, $C_{b,3}$ — блоки питания, $C_{b,4}$ — фотоприемник, $C_{b,5}$ — компенсирующие системы (например, транспаранты), $C_{b,6}$ — блоки управления, $C_{b,7}$ — программное обеспечение, $C_{b,k}$ — корпус, $C_{b,n}$ — некоторые эксплуатационные расходы (например, юстирование).

Результаты прогнозного оценочного расчета с использованием зависимостей (5) и (6) приведены на рис. 4.

Исходя из решения этих уравнений при контролируемой длине фотобарьеров, меньшей 40 м, следует считать целесообразным использование светодиодов.

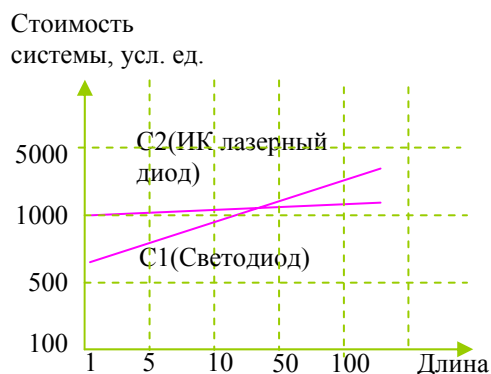


Рис. 4. Проекция на плоскость «длина – стоимость» областей экономической целесообразности использования свето- и лазеродиодных фотобарьеров

2. Результаты моделирования и практической реализации. При проектировании фотобарьеров с применением светодиодов с широкой диаграммой направленности уменьшить вероятность пропуска из-за внешней засветки можно также, например, с помощью управляемого оптического транспаранта [11]. Функциональная схема фотобарьера с таким элементом, в качестве которого может использовать, например, жидкокристаллический пространственный модулятор, меняющий свою оптическую прозрачность под действием электрического напряжения, приведена на рис. 5.

Алгоритм работы фотобарьера с управляемым транспарантом состоит в следующем [11]. Блок управления формирует первичную кодоимпульсную последовательность, которая передается оптическим излучателем на вход фотоприемника вдоль границы опасной производственной зоны. Одновременно блок управления формирует дополнительную последовательность импульсов, которая поступает на управляемый оптический транспарант и изме-

няет его оптическую прозрачность на локальном участке оптической оси зоны чувствительности. В результате происходит модуляция последовательности оптических импульсов излучателя. Фотоприемник из принятой кодоимпульсной последовательности вырабатывает вторичную последовательность импульсов, которая передается в блок управления. Блок управления сравнивает первичную и вторичную последовательности между собой и по результатам сравнения в зависимости от наличия или отсутствия объектов на оптической оси зоны чувствительности, а также отражающих объектов в пределах зоны чувствительности вырабатывает управляющие сигналы для оповещателя и исполнительного реле.

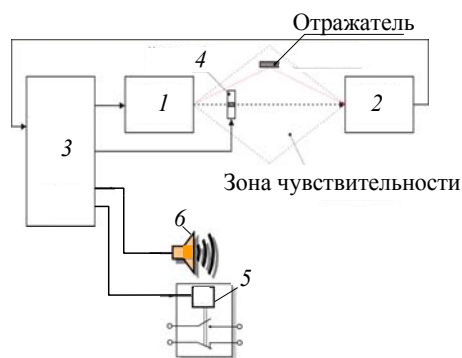


Рис. 5. Функциональная схема фотобарьера с управляемым оптическим транспарантом

Математическая модель однолучевого фотобарьера с управляемым транспарантом построена на основе (4). Из (4) видно, что разделение прямого и отраженного лучей может быть выполнено на входе фотоприемника за счет пространственно-временных изменений (например, с использованием многоэлементного фотоприемника с оценкой параметров сигнала на каждом элементе после приема каждой кодоимпульсной посылки) либо изменения пропускания μ лучей. Поскольку отраженный луч имеет неизвестное значение τ , то детерминированным образом управлять предпочтительно параметром μ прямого луча. Это воздействие можно ввести в (4) и получить сигнал на входе фотоприемника:

$$P(t) = P_s A_{pr} \mu(t) R^{-2} \alpha^{-2} [G(t) M_1(t - \tau_{M_1} - mT) S_1(t) + M_2(t - \tau_{M_2} - mT) S_2(t)], \quad (7)$$

где $G(t)$ — детерминированная функция модуляции прозрачности в области распространения прямого луча (штрих-пунктиром на рис. 2, 5).

Микроконтроллер производит оценку кодоимпульсных посылок (7) и формирует выход-

ные сигналы в соответствии с правилом принятия решения о наличии или отсутствии приема по отраженному лучу:

$$S = \begin{cases} 1, & \text{если } P'(t - kT) \sim M_{\text{mod}}(t - k_{\text{mod}}T)S_1(t), \\ 2, & \text{если } P'(t - kT) \sim S_1(t), \\ 3, & \text{если } P'(t - kT) \sim M_i(t - mT), i = 1, 2; \end{cases} \quad (8)$$

- 1 – отсутствие препятствия;
- 2 – появление отражателя;
- 3 – появление препятствия,

где $P'(t - kT)$ — оценка входной последовательности $P(t)$.

Структурная схема микроконтроллера, реализующего алгоритм, представленный в (7), (8), приведена на рис. 6. На рис. 6 обозначены: 1 — микропроцессор; 2 — запоминающее устройство; 3 — генератор основной частоты модуляции; 4 — компаратор; 5 — триггер состояний; 6 — формирователь выходных импульсов; 7 — формирователь входных импульсов; 8 — включатель оповещателя и реле; 9 — формирователь сигналов управления транспарантом.

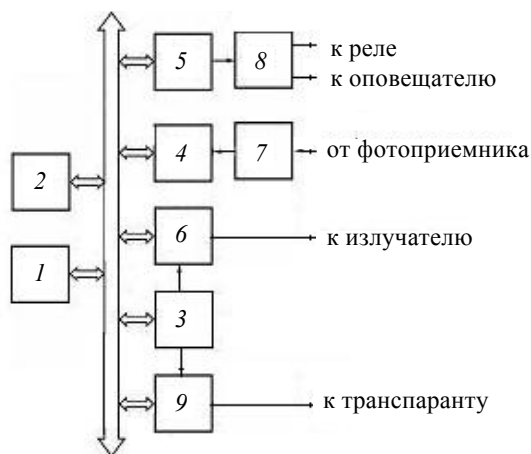


Рис. 6. Структурная схема микроконтроллера фотобарьера с транспарантом

Результаты моделирования ситуации, приведенной на рис. 3 с использованием оптического транспаранта, представлены на рис. 7. На диаграмме рис. 7, а показано, что вторичная кодоимпульсная последовательность, принятая фотоприемником, совпадает с первичной кодоимпульсной последовательностью, посланной излучателем, с исключением из нее импульсов, соответствующих вторичной последовательности, что приводит к правильной работе фотобарьера.

Из рис. 7, б видно, что вторичная кодоимпульсная последовательность, принятая фотоприемником, прерывается в момент появления препятствия на оптической оси зоны чувствительности, что приводит к правильной работе фотобарьера.

Из рис. 7, в видно, что вторичная кодоимпульсная последовательность, принятая фотоприемником, совпадает с немодулированной первичной кодоимпульсной последовательностью, посланной излучателем, что приводит к правильной работе фотобарьера и обнаружению отражателя в зоне чувствительности.

Анализ полученных результатов имитационного моделирования и прогнозного оценочного расчета при учете возможности засветки от случайного отражателя показали экономическую целесообразность совместного использования управляемых транспарантов и светодиодов в фотобарьерах с контролируемой длиной рабочей зоны, меньшей 40 м. Экономическая целесообразность использования лазерных диодов появляется при контролируемой длине фотобарьера более 40 м.



Рис. 7. Моделирование ситуации:
 а — в отсутствие препятствия и отражателя в зоне чувствительности фотобарьера;
 б — при наличии препятствия и в отсутствие отражателя в зоне чувствительности фотобарьера;
 в — в отсутствие препятствия и при наличии отражателя в зоне чувствительности фотобарьера

Изложенная методика проектирования была учтена при изготовлении фотобарьеров в ОИПИ НАН Беларуси (рис. 8).

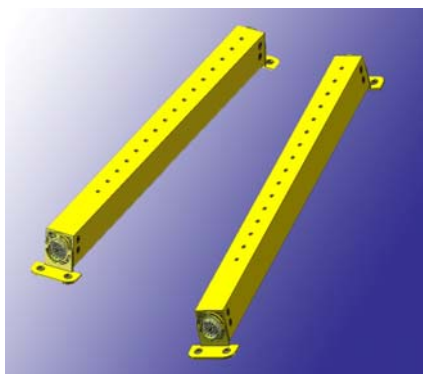


Рис. 8. Опытно-промышленный образец многолучевого фотобарьера

Основные технические характеристики фотобарьеров приведены в таблице.

Характеристики фотобарьера ОИПИ НАН Беларуси

Параметр	Значение
Количество каналов	1...20
Разрешающая способность	20 мм
Угол излучения, не более	0,2 радиан
Угол приема, не более	0,2 радиан
Длина контролируемой рабочей зоны	10 м
Время реакции, не более	50 мс
Возможность перепрограммирования на рабочем месте	есть

Заключение. Предложена методика оценки технико-экономических показателей активных оптоэлектронных устройств обнаружения (фотобарьеров), позволяющая на стадии проектирования провести выбор источников излучения для фотобарьеров в зависимости от условий их эксплуатации. Определены условия, при которых в полиграфическом оборудовании предпочтительно использование светодиодных излучателей. Предложены конструкционные и функциональные схемы фотобарьеров на основе светодиодов и соответствующие алгоритмы обработки их сигналов, позволяющие обеспечить надежную работу в условиях засветки от случайных источников, а именно предотвратить пропуск при наличии посторонних предметов, переотражающих рабочий луч фотобарьера.

Литература

1. Полянский, Н. Н. Технологии полиграфического производства // Основы полиграфии: в 2 ч. — М.: Книга, 1980–1982. — 2 ч.

2. ССБТ. Оборудование полиграфическое. Требования безопасности и методы испытаний: ГОСТ Р 12.2.133-97. — Введ. 01.01.1998. — М., 1998. — 20 с.

3. Магауенов, Р. Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения: учеб. пособие / Р. Г. Магауенов. — 2-е изд. — М.: Горячая линия — Телеком, 2008. — 496 с.

4. Разработка интеллектуальных оптоэлектронных систем контроля доступа для обеспечения безопасности труда / В. К. Ероховец [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тезисов IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 июня 2007 г.: в 2 т. / Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь; редкол.: Э. Р. Бариев [и др.]. — Минск, 2007. — Т. 2. — С. 313–315.

5. 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.

6. Шуберт, Ф. Е. Светодиоды / пер. с англ.; под ред. А. Э. Юновича. — 2-е изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 496 с.

7. Фотобарьеры безопасности Reer (Италия). Техническое описание [Электронный ресурс] / Турин, 2010. — Режим доступа: [http://reer.megasensor.ru/downloads/ManualEOS4\(1\).pdf](http://reer.megasensor.ru/downloads/ManualEOS4(1).pdf). — Дата доступа: 20.05.2011.

8. Коржик, В. И. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: справочник / В. И. Коржик, Л. М. Финк, К. Н. Щелкунов; под ред. Л. М. Финка. — М.: Радио и связь, 1981. — 232 с.

9. Прохоров, Д. Атмосферные оптические линии связи // Технологии и средства связи [Электронный ресурс]. — 2004. — № 1. — Режим доступа: <http://laseritc.ru/files/files/Prohorov.pdf>. — Дата доступа: 20.05.2011.

10. Гуткин, Л. С. Проектирование радиосистем и радиоустройств: учеб. пособие для вузов / Л. С. Гуткин. — М.: Радио и связь, 1986. — 288 с.

11. Световой барьер ограничения доступа с самотестированием / С. Л. Канделинский [и др.] // Технические средства защиты информации: тез. докл. VIII Белорусско-российской науч.-техн. конф., Браслав, 24–28 мая 2010 г. [Электронный ресурс]. — Минск, 2010. — Режим доступа: http://www.bsuir.by/m/12_104571_1_62726.pdf. — Дата доступа: 20.05.2011.

Поступила 05.05.2011