

УДК 681.586

Субботин О. В.
Разживин А. В.

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Анализ функциональных схем систем комплексной автоматизации станов горячей прокатки и ряда других производств, а также промышленных оптических и электромагнитных помех, затрудняющих работу фотоэлектрических измерительных преобразователей, показал, что объем необходимой производственной информации определяется техническими задачами контроля объектов: наличия, положения, геометрических и габаритных параметров, скорости, температуры, качества гидросбыва. Реализация указанных задач достигается с помощью специализированных первичных преобразователей, основанных на различных физических принципах работы, что обуславливает их значительное количество и разнообразие на технологической линии (до нескольких сотен единиц) [1–3].

Доказано, что наиболее приемлемым способом контроля параметров объектов является фотоэлектрический, обеспечивающий необходимую помехозащищенность, достоверность контроля и точность измерения. Указанный способ реализуется в фотоэлектрических измерительных преобразователях. Контроль объектов основан на обнаружении бинарного оптического сигнала, причем формирование сигналов о контроле осуществляется самим контролируемым объектом – как при работе на просвет, так и при оптической локации [4, 5].

Но существующие фотоэлектрические преобразователи аналогового и импульсного типа при работе в экстремальных условиях термических цехов в значительной степени подвержены действию оптических помех и электромагнитных возмущений, приводящих к искажению информационного сигнала.

Применение аналоговых информационных сигналов в измерительных преобразователях затруднено наличием преимущественно непрерывных возмущающих воздействий, что обусловлено спецификой теплотехнического производства. При применении одиночных импульсов энергия передаваемых сигналов эквивалентна, а в некоторых случаях значительно меньше энергетических показателей среды их распространения. При работе таких устройств в экстремальных условиях значительно повышается вероятность появления ошибок I-го и II-го рода – ложной тревоги $P_{лм}$ и пропуска сигнала P_{np} [2]:

$$P_{л.м.}(S) = P_S(0) = p \left[\sum_{i=1}^n \xi_i \langle X_{II} \rangle \right], \quad P_{np.}(S) = P_0(S) = p \left[\sum_{i=1}^n S + \xi_i \langle X_{II} \rangle \right], \quad (1)$$

где ξ – действующие помехи; X_{II} – пороговый сигнал ограничения.

При использовании в качестве излучателей маломощных инфракрасных светодиодов, прием должен осуществляться с накоплением, когда один и тот же маломощный сигнал нужно повторять несколько раз, а результаты, полученные на приемном конце, определенным образом суммировать. Такой способ позволяет значительно поднять соотношение сигнал-помеха. Так как детерминированный сигнал суммируется арифметически, то его амплитуда возрастает в n раз (n – число импульсов в посылке, составляющее несколько сотен), а энергия – в n^2 раз. При этом флюктуирующие помехи складываются по мощности.

Таким образом, при контроле объектов в режиме оптической локации на основе синхронного накопления «пачки» импульсов значительно (более чем на порядок) повышается соотношение сигнал-помеха, что повышает достоверность измерительной информации.

$$\sum_{i=1}^{T_u} \int_{T_u}^{T_u + t_{np}} \{ [S(t) + \xi(t)] \times h_{\phi}(t) \} dt \neq X_{II}, \quad (2)$$

где $h_\phi(t)$ – реакция фильтра на сигнал; T_u – время импульса, t_{np} – время приема.

Вместе с тем большое количество информационных импульсов в «пачке» (несколько сотен) значительно снижает быстродействие системы контроля. Таким образом, возникает необходимость в разработке оптимальной структуры информационного оптического сигнала, удовлетворяющего определенным энергетическим требованиям, условиям быстродействия и помехозащищенности.

Результаты исследования промышленных помех позволили сформулировать энергетические и частотные требования к информационным оптическим сигналам. При этом кодирование информации позволяет значительно повысить помехоустойчивость первичного преобразователя [4]. Помехоустойчивые фотоэлектрические преобразователи обычно работают при активном способе контроля, со специальными излучателями, создающими оптический сигнал со свойствами, существенно отличающимися от свойств оптических помех.

Целью работы является исследование новых подходов в повышении достоверности и надежности получаемой первичной информации в системах комплексной автоматизации теплотехнических производств.

Были исследованы и обобщены способы приема одиночных сигналов и последовательности импульсов, повышающие помехоустойчивость измерительного преобразователя [6, 7]. Однако для приема случайной последовательности дискретных сигналов передатчика (для решения задачи обнаружения) могут использоваться различные приемные устройства, при этом число методов приема сигналов очень велико. Основной задачей изучения методов приема стало определение рабочих характеристик приемного устройства, которые показывают зависимость вероятности ошибок обнаружения от энергетических соотношений в канале связи и других параметров, влияющих на эту вероятность (рис. 1):

$$\alpha = f(P_{ou}); \quad h_0^2 = f(\alpha), \quad (3)$$

где $h_0^2 = E/N_0$; E – энергия сигналов; N_0 – двусторонняя спектральная плотность помехи; α – аргумент интеграла вероятности $\Phi(a)$.

Предложена методика вероятностной оценки достоверности приема кодоимпульсных оптических сигналов, основанная на совместном анализе рабочих характеристик приемника и энергетических показателей передаваемых сигналов [8]. Согласно предложенному методу задаются желаемой вероятностью ошибки приема кодоимпульсного сигнала – P_{ou} . По зависимости $\alpha = f(P_{ou})$ (рис. 1, а) определяется аргумент интеграла вероятности $\Phi(a)$. Из установленного значения α по зависимости $h_0^2 = f(\alpha)$ (рис. 1, б) определяется минимальное значение энергетического отношения сигнал-помеха h_0^2 .

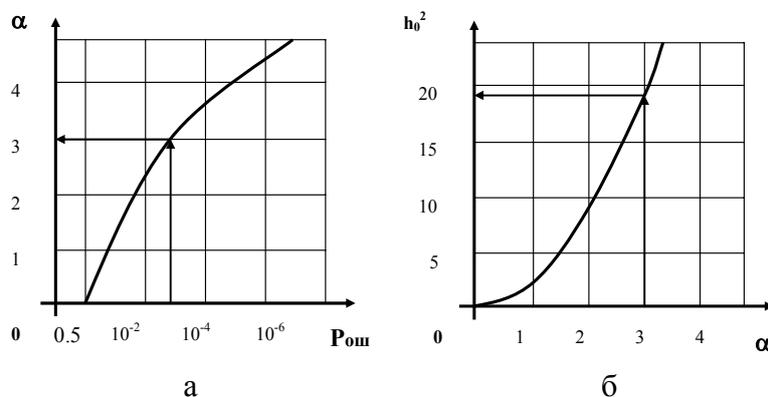


Рис. 1. Зависимости $\alpha = f(P_{ou})$ (а) $h_0^2 = f(\alpha)$ (б)

С другой стороны, предложен аналитический метод определения оптимального веса w кодовой последовательности по энергетическим показателям действующих помех и передаваемых сигналов [9]. Отношение выходной мощности сигнала к мощности его на входе приемника определяется квадратом импульсной характеристики последовательности:

$$\frac{P_{\text{ср.вых.}}}{P_{\text{ср.вх.}}} = \frac{\sigma_{\text{вых.}}^2}{\sigma_{\text{вх.}}^2} = \sum_{n=0}^b h^2(nT) = w^2. \quad (4)$$

Чем больше вес кодовой комбинации w , тем больше отношение $P_{\text{ср.вых.}}/P_{\text{ср.вх.}}$, а, следовательно, и отношение сигнал-помеха.

Очевидно, что $w^2 \approx h_0^2$. Для сигналов с пассивной паузой величина h_0 характеризует минимальные энергетические затраты на передачу единицы информации с заданной вероятностью ошибки $P_{\text{ош}}$. А величина w , в свою очередь, определяет минимальное значение веса кодоимпульсной последовательности, энергетические показатели которой эквивалентны h_0 . Тогда, достоверность правильного приема кодовой последовательности определяется ее весом w (количества единичных импульсов) при заданной вероятности ошибки (рис. 2).

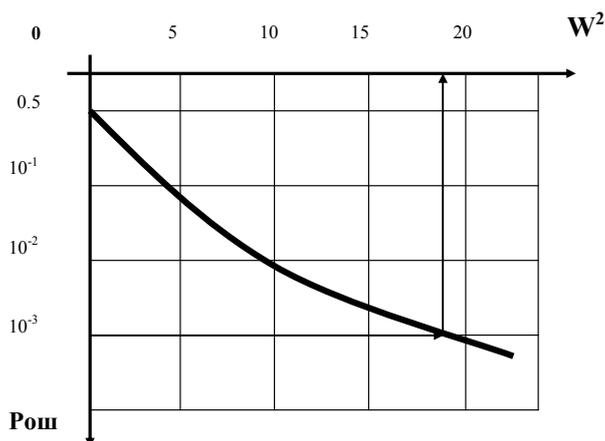


Рис. 2. Рабочие характеристики приемника $P_{\text{ош}} = f(w^2)$ для сигналов с пассивной паузой

Увеличение веса кодовой комбинации повышает энергию выходного сигнала в w^2 раз, флуктуирующие помехи складываются по мощности, что влечет к повышению соотношения сигнал-помеха только в w раз. Следует отметить, что значность кода b (его общая длина) не влияет прямо на помехоустойчивость кода, а определяет лишь шаг дискретизации при любом способе кодирования:

$$\max[e] < 2^{-b-1} = T/2, \quad (5)$$

где e – ошибка; T – шаг дискретизации.

Аналитически доказано, что оптимальное значение веса кодовой комбинации $w \geq 5$.

Разработанный метод позволяет определить оптимальный вес w кодовой последовательности по заданной величине вероятности появления ошибки, не обращаясь к энергетическим расчетам действующих помех и передаваемых сигналов.

Для устройств с одним передатчиком и одним приёмником наиболее эффективен и максимально помехоустойчив код с удвоением элементов. Он характеризуется введением дополнительных символов для каждого символа информационной части комбинации, причём единица дополняется нулём, а ноль – единицей. Тогда исходная комбинация 11111 преобразуется в вид 1010101010. Код позволяет обнаруживать все ошибки, за исключением, когда имеют место две ошибки в парных элементах (сочетания вида 00 или 11) – двоичной ошибки. Помехоустойчивость кода высока за счет увеличения избыточности и применения устойчивой структуры исходного кода, где нет чередования элементов. Также это позволяет упростить процедуру кодирования и декодирования в системе обработки информации.

Также исследованы способы цифровой фильтрации оптического сигнала в таких фотоэлектрических измерительных преобразователях. С применением цифровых фильтров достигается высокая точность преобразования информации, а также увеличивается быстродействие системы контроля. На основании структуры предложенного кодоимпульсного информационного сигнала $x(nT)$ разработан нерекурсивный цифровой фильтр, уравнение которого:

$$y(nT) = \sum_{k=0}^9 b_k x(nT - kT) = b_9 x((n-9)T) + b_7 x((n-7)T) + b_5 x((n-5)T) + b_3 x((n-3)T) + b_1 x((n-1)T), \quad (6)$$

где b_k – матрица коэффициентов фильтра, $b_k = x(nT) = \{0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1\}$; k – длина кода.

На информационном уровне задача обнаружения объекта контроля решается с помощью теории статистических решений (метод проверки статистических гипотез H) [7]. Приемное устройство на основании принятой реализации $y(t)$ определяет, какой именно из сигналов в ней содержится (S_1 или S_2), а, следовательно, какой элемент цифровой последовательности был передан (X_1 или X_2) – двухальтернативное решение. Для канала с постоянными параметрами и аддитивной помехой $n(t)$ по реализации $y(t) = S_i(t) + n(t)$, где $0 < t < \phi_0$ проверяют статистические гипотезы H_i : H_1 принимается, если $X_1 = 1$ – «да»; H_2 принимается, если $X_2 = 0$ – «нет».

Из-за наличия помех $S_i(t)$ может принимать либо значение сигнала $S_1(t)$ с вероятностью $p(S_1)$, либо значение $S_2(t)$ с вероятностью $p(S_2)$. Вероятность ошибок при приеме точно известных бинарных сигналов:

$$P_{ош} = 0,5 \left\{ 1 - \Phi \left[\sqrt{\frac{E(1-\chi)}{4N_0}} \right] \right\}, \quad (7)$$

где $\Phi(\chi)$ – корреляционный интеграл;

$$\Phi(\chi) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\chi} e^{-\xi^2/2} d\xi, \quad (8)$$

χ – коэффициент взаимной корреляции сигналов $S_1(t)$ и $S_2(t)$; ξ – действующая помеха.

Выбор гипотезы осуществляется на основании величины Δ , характеризующей правдоподобность той или иной гипотезы – отношении правдоподобия:

$$\Delta = \frac{p(S_1)}{p(S_2)} \exp \left\{ \frac{1}{N_0} \int_0^{\tau_0} [y(t) - S_2(t)]^2 dt - \frac{1}{N_0} \int_0^{\tau_0} [y(t) - S_1(t)]^2 dt \right\}. \quad (9)$$

Выражение Δ принципиально решает задачу оптимального различения двух сигналов по критерию минимальной вероятности появления ошибки, так как в этом выражении функционально связаны все известные и неизвестные величины. Поэтому, зная Δ и поступая в соответствии с байесовским правилом, можно решать, какой из двух возможных сигналов (S_1 , S_2) был передан, а, следовательно, какой из элементов сообщения x_1 или x_2 необходимо воспроизвести на выходе канала: $\Delta > 1$ – принят сигнал $S_1(t)$; $\Delta < 1$ – принят сигнал $S_2(t)$.

На основании этого принят критерий оптимальности структуры преобразователя – высокая помехозащищенность, обеспечивающая достоверность и точность контроля в экстремальных условиях (критерий минимума ошибки). Разработана структура приемника оптического сигнала, оптимального по предложенному критерию.

Современное производство требует высоконадежных датчиков контроля наличия и положения подвижных узлов и объектов технологических систем. В таких системах наиболее эффективны датчики фотоэлектрического типа. Имеющиеся конструкции фотоэлектрических датчиков, не смотря на их простоту и надежность, не удовлетворяют в полной мере все возрастающим требованиям к точности и достоверности получаемой информации. Применение дискретного информационного канала позволяет сократить аппаратные издержки, а также снизить ошибки преобразования сигналов в электронном тракте. Дискретизация сообщений позволяет избавиться от случайных аналоговых (низкочастотных) помех, части импульсных, не попадающих в частотное окно пропускания – значительно снизить общую накопленную ошибку во время приема.

В итоге комплексного подхода при разработке структуры измерительного преобразователя разработана математическая модель дискретного фотоэлектрического преобразователя (рис. 3), отражающая суть процессов преобразования информационного сигнала при его прохождении в электронном тракте преобразователя. На рис. 3 обозначены следующие устройства: К – кодирующее устройство; И – излучатель; КРОС – канал распространения оптического сигнала; ФПУ – фотоприемное устройство; СОС – схема обработки информационного сигнала; РУ – решающее устройство; ВУ – выходное устройство; P_i – операторы преобразования оптического информационного сигнала в измерительном канале.

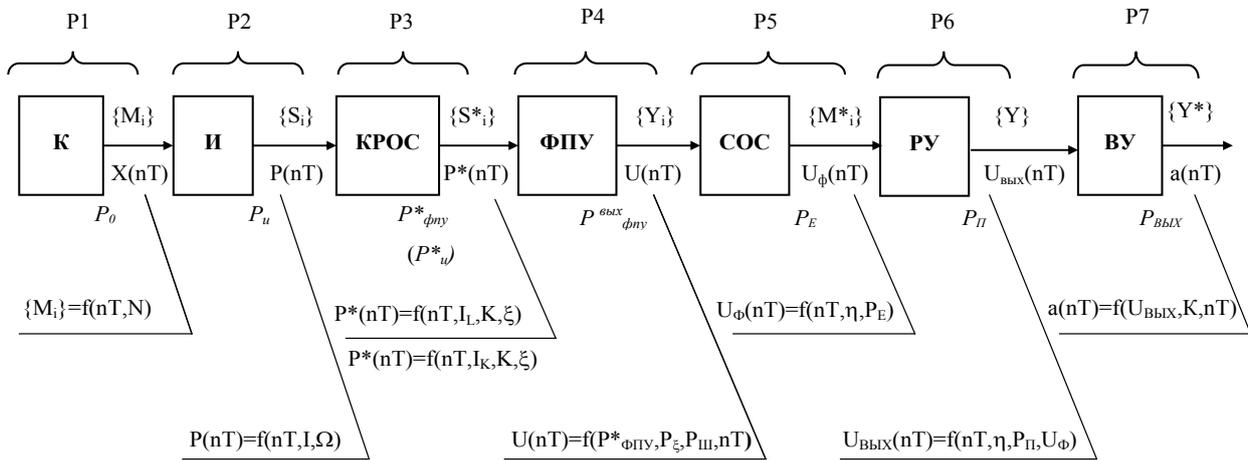


Рис. 3. Математическая модель дискретного измерительного канала

Такая модель дискретного информационного канала отображает структуру оптимального фотоэлектрического измерительного преобразователя с цифровой фильтрацией кодоимпульсного оптического сигнала. Временные диаграммы, представленные на рис. 4, поясняют алгоритм работы приемника кодоимпульсных сигналов.

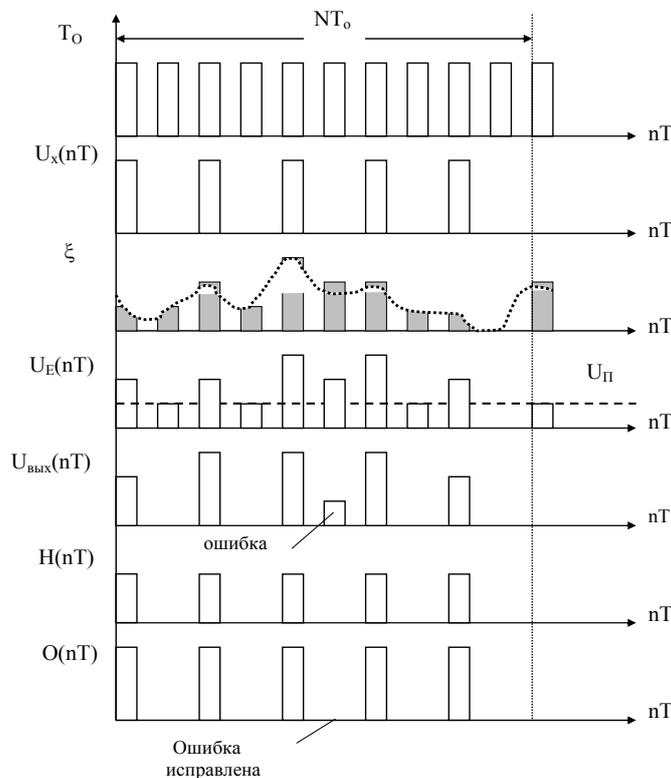


Рис. 4. Временные диаграммы работы приемника кодоимпульсных сигналов

На рис. 4 приняты обозначения: $U_x(nT)$ – кодовая последовательность $\{x\}$, ξ – действующая помеха в среде распространения оптического сигнала, $U_E(nT)$ – напряжение на входе ФПУ, $U_{\text{вых}}(nT)$ – напряжение на выходе ФПУ, $H(nT)$ – импульсная характеристика фильтра, $O(nT)$ – формирование сообщения для выходного устройства (дисплея), $U_{\text{П}}$ – пороговый сигнал, T_0 – период дискретности.

Применение цифровой фильтрации в фотоэлектронных устройствах требует принципиально новых структурно-алгоритмических приемов обработки информации и способов оценки достоверности контроля. Привлечение новых подходов для обнаружения и локации оптического сигнала, а также оптимизация существующих фотоэлектрических преобразователей определило новую тенденцию в оптической локации – переход на цифровую обработку информации. При этом повышается точность работы и оптимизируется структура преобразователя, предусматривается взаимодействие преобразователя с информационно-измерительной системой, что позволит реализовать более точный алгоритм обработки сигналов и увеличит быстродействие системы контроля, осуществит возможность ее оперативного взаимодействия с технологическим процессом.

Разработан и экспериментально исследован цифровой ФЭИП как элемент информационно-измерительной системы (ИИС) контроля технологических параметров прокатного стана. На рис. 5 показана структура ИИС прокатного стана с применением ФЭИП как первичного преобразователя ИИС при работе на просвет и в качестве оптического локатора для обнаружения объектов любого теплового состояния с использованием кодоимпульсного оптического сигнала.

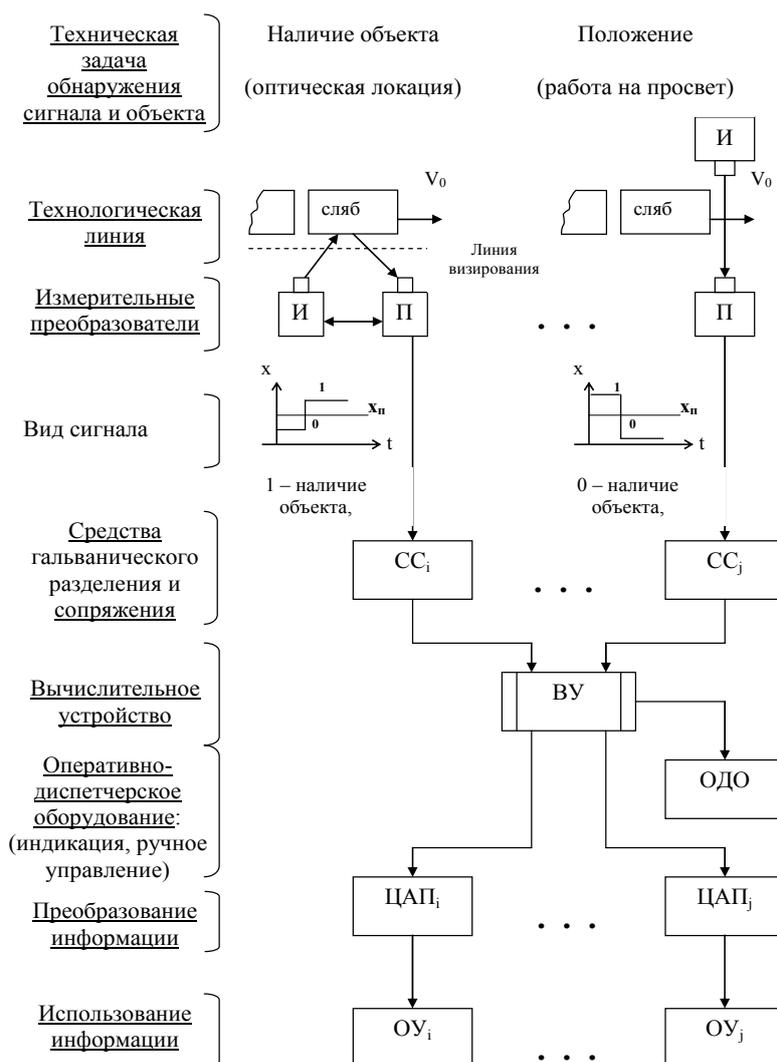


Рис. 5. ИИС слежения за слябами в печном районе на базе оптического локатора

Экспериментальные исследования преобразователя подтвердили адекватность аналитических исследований реальным процессам, происходящим в ФЭИП и соответствие ожидаемых результатов фактическим [10]. Технический эффект проявился в повышении достоверности контроля объектов при одновременном увеличении быстродействия. Это позволяет поднять производительность и эффективность ИИС в целом.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили получить научно обоснованные теоретические и экспериментальные результаты, которые при их совместном применении значительно повышают качество функционирования информационно-измерительной системы (ИИС) контроля технологических параметров прокатного стана за счет значительного увеличения быстродействия и достоверности контроля. При этом внедрение таких фотоэлектрических измерительных преобразователей в различных отраслях промышленности позволит уменьшить затраты на разработку широкого ряда специализированных устройств контроля и измерения отдельных параметров, увеличить качество и достоверность измерительной информации, упростить построение систем управления технологическими объектами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Челюсткин А. Б. Автоматизация процессов прокатного производства / А. Б. Челюсткин. – Металлургия, 1971. – 296 с.
2. Лобовский Л. Н. Автоматизированное управление технологическими процессами на участке нагревательных печей / Л. Н. Лобовский // Разработка и внедрение АСУ прокатными станами. – М. : ЦНИИТЭИП, 1978. – С. 41–82.
3. Таланчук П. М. Засоби вимірювання в автоматичних та керуючих системах: підручн. для студентів вузів, які навчаються зі спец. «Автоматизація технологічних процесів і виробництв» / П. М. Таланчук, Ю. О. Скрипник, В. О. Дубовий. – К. : Райдуга, 1994. – 627 с.
4. Сагайда И. М. Унифицированные фотодатчики для автоматизации сложных теплотехнических процессов / И. М. Сагайда // Датчики и методы повышения их точности. – К. : Выща шк., 1989. – 215 с.
5. George Kelk Corporation. KELK Sensors for Rolling Mills. // Description and Specifications. – Ontario, Canada, 1998.
6. Гольденберг Л. М. Цифровая обработка сигналов : учеб. пособие для вузов / Л. М. Гольденберг, Б. Д. Матюшкин, М. Н. Поляк. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1990. – 256 с.
7. Пеннин П. И. Системы передачи цифровой информации : учебное пособие для вузов / П. И. Пеннин. – М., Сов. радио, 1976. – 368 с.
8. Субботин О. В. Особенности оценки достоверности контроля параметров объектов труда фотоэлектрическим способом / О. В. Субботин, И. М. Сагайда, В. Е. Никитин // Межвузовский тематический сборник научных трудов НТК «Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении». – Краматорск, 1998. – Вып. 4. – С. 294–297.
9. Субботин О. В. Повышение помехоустойчивости информационно-измерительных устройств / О. В. Субботин // Сб. трудов международной НТК «Проблемы и практика управления в экономических системах». – Краматорск, декабрь 1998. – Вып. № 110 (177). – С. 51–52.
10. Субботин О. В. Моделирование фотоэлектрических измерительных преобразователей для систем автоматизации технологических процессов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем». – Краматорськ : ДДМА, 1999. – № 9. – С. 171–176.

Субботин О. В. – канд. техн. наук, доц. кафедры АПП ДГМА;

Разживин А. В. – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры АПП ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: app@dgma.donetsk.ua