

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ ДАННЫХ

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ЗАХИСТ ВІЗУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМАХ З ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВИМ ПОДАННЯМ ДАНИХ

FUNCTIONAL PROTECTION OF THE VISUAL INFORMATION AT ERGATIC SYSTEMS WITH BAR GRAPH DATA REPRESENTATION

Аннотация. Исследованы принципы динамического синтеза дискретно-аналогового оптического информационного сигнала в эргатических системах с учетом возникновения угроз, искажающих передаваемые оператору сообщения. С точки зрения защиты данных проанализированы информационные модели, которые используются для кодирования сообщений путем сканирования двумерной матрицы элементов электрооптического преобразователя по одной из координат в многотактном режиме, а также два варианта двухтактного кодирования. Предложен метод формирования визуальных образов, обеспечивающий передачу данных оператору без искажения содержания в случае нарушения функционирования критических блоков системы при воздействии наиболее распространенных угроз.

Анотація. Досліджено принципи динамічного синтезу дискретно-аналогового оптичного інформаційного сигналу в ергатичних системах із урахуванням виникнення загроз, які спотворюють повідомлення, що передаються оператору. З точки зору захисту даних проаналізовано інформаційні моделі, які використовуються для кодування повідомлень шляхом сканування двовимірної матриці елементів електрооптичного перетворювача по одній із координат в багатотактному режимі, а також два варіанти двотактного кодування. Запропоновано метод формування візуальних образів, що забезпечує передачу даних оператору без спотворення змісту в випадку порушення функціонування критичних блоків системи при впливі найбільш поширених загроз.

Summary. Taking into account the threats that deform the messages transferred to the operator the principles of dynamic synthesis of a bar graph optical information signal in ergatic systems are investigated. In view of data protection the information models used for message coding by scanning of a bidimensional matrix of elements of the electrooptical converter by one of co-ordinates in multicycle mode, and also two variants of double cycle coding are analysed. The method of formation of the visual images, providing data transmission without distortion of the content to the operator in the case of dysfunction of critical blocks of system at influence of the most widespread threats is offered.

Автоматизация систем управления, повышение требований к их точности, быстродействию и информативности в сочетании с постоянной модернизацией технологий получения и транспортировки данных неразрывно связаны с решением проблемы, появляющейся с непрерывным и существенным ростом объемов информации, которая обрабатывается в управляющих и информационно-коммуникационных комплексах [1, 2]. В это же время многофакторность внешних воздействий на техническую систему и практически неограниченное число возможных путей получения оптимального конечного результата в большинстве случаев предполагает наличие оператора при управлении сложными объектами и технологическим оборудованием [3, 4]. В результате такое построение современных технических комплексов делает человека ключевым элементом эргатических систем. Одновременно существенно повышаются требования к информационной безопасности канала визуальной передачи данных. Как следствие резко возрастают требования к качеству информационных ресурсов и непосредственно к системам получения, передачи, обработки и отображения данных. Нарушение основных свойств информации – конфиденциальности, целостности и доступности приводит к принятию ошибочных решений, и, как следствие, к возможности возникновения аварийных и других нежелательных ситуаций [3, 5, 6]. Поэтому обеспечение защиты информации в эргатической системе крайне важно как на стадии ее создания, так и в процессе эксплуатации. Используемые функциональные и конструктивные методы, применяемые технические средства должны предотвратить утечку защищаемой информации, а также несанкционированное и непреднамеренное воздействие на нее [6, 7].

Существенным является то, что технология визуальной передачи данных порождает практически все виды угроз: нарушение целостности, логической структуры, содержания, конфиденциальности и права собственности [5, 7]. В результате для обеспечения высокого уровня информационной

безопасности необходимо применение комплексной системы защиты данных [6]. Анализ показывает, что наибольший уровень уязвимости визуального тракта эргатических систем связан с искажением содержания и целостности передаваемых человеку сообщений. Здесь негативное воздействие на информацию в основном определяется ее несанкционированной модификацией. Использование цифровых технологий в визуальном канале передачи сообщений оператору стало одним из эффективных методов повышения безопасности данных при реализации комплексных систем защиты информации [6, 8]. Главную роль при создании таких решений играет информационная модель (ИМ), положенная в основу правил кодирования визуальных сообщений [7, 9]. Среди ИМ, которые широко используются в эргатических системах, особо выделяется группа дискретно-аналоговых моделей, обладающих уникальным комплексом информационных и эргономических параметров [9 – 11]. Сочетание этих характеристик с простотой и эффективностью аппаратурной реализации таких ИМ обеспечивает реальное противодействие практически всем источникам угроз, проявляя свои лучшие свойства и существенно снижая влияние человеческого фактора, технических средств и внешней среды на безопасность информации.

Практическая потребность в надежных и защищенных каналах передачи данных оператору обусловили проведение исследований ИМ, которые описывают динамический синтез изображений в дискретно-аналоговой форме на информационном поле (ИП) электрооптического преобразователя эргатической системы [12 – 15]. По уровню защищенности от большинства угроз, искажающих информацию, была выделена аддитивная дискретно-аналоговая форма ИМ. На этой основе был разработан ряд технических решений, оптимизированных по различным критериям и обеспечивающих мультиплексное возбуждение элементов ИП [16 – 18]. Однако исследованию поведения эргатических систем при отказе функциональных блоков, обеспечивающих поддержку визуального канала связи с оператором, было уделено мало внимания. Поэтому практический интерес представляет поиск путей передачи информации человеку без искажений в этих условиях.

Цель работы – исследовать функциональные принципы динамического синтеза дискретно-аналогового оптического информационного сигнала в эргатической системе.

1. Визуальная информация в эргатической системе. Для передачи визуальных сообщений оператору на ИП электрооптического преобразователя из дискретных элементов a_i синтезируется изображение в соответствии с действующей в системе ИМ. Множество \mathbf{A} элементов ИП a_i в общем случае может быть представлено как

$$\mathbf{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_{p-1}, a_p\}, \quad (1)$$

где p – общее количество элементов; $i = 1, p$.

Использование дискретно-аналоговой формы ИМ предполагает, что каждый из элементов a_i имеет весовую функцию со значением $\bar{w}_i = \bar{w}(a_i)$, которое связано с его пространственным положением на ИП и пропорционально его номеру i в совершенно упорядоченном множестве \mathbf{A} [19]. На нем определена весовая функция и выполняется условие $\bar{w}(a_j) < \bar{w}(a_{j+1})$ для всех $j = 1, (p-1)$. Передача данных оператору осуществляется на основе значений весовой функции элементов относительно пространственной многоканальной меры [4].

Для передачи по визуальному каналу требуемого объема информации используется, как правило, ИП с числом элементов $p > 25 \dots 30$, а для повышения уровня надежности технических средств формирования изображения электрооптический преобразователь по электрическому входу реализуется в виде двумерной матрицы из n групп по m элементов, где $m \cdot n = p$ [9, 10]. В каждую группу входят элементы, весовая функция которых в последовательных парах отличается на единицу. Значение весовой функции группы определяется ее положением на ИП относительно пространственной многоканальной меры. В результате элемент a_i можно представить в виде $a_i \Leftrightarrow a_{xy}$, т.е. как элемент, имеющий номер y в группе с номером x , где $x = \overline{1, n}$, $y = \overline{1, m}$. Тогда его позиционный номер во множестве \mathbf{A} определяется выражением $i = m \cdot x + y$. Следовательно, v -й элемент в матрице занимает $y_v = v - m \cdot E \lfloor v/m \rfloor$ позицию в группе с номером $x_v = E \lfloor v/m \rfloor + 1$, где $E \lfloor \cdot \rfloor$ – целая часть

числа α . Поэтому множество элементов ИП с матричным электрическим соединением \mathbf{A}^M , исходя из выражения (1), может быть задано как

$$\mathbf{A}^M = \{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{xy}, \dots, a_{n(m-1)}, a_{nm}\}. \quad (2)$$

Визуальное представление данных синтезируется на ИП в виде изображений символов, которые образуют соответствующий алфавит. Опишем аддитивную дискретно-аналоговую форму ИМ множеством

$$\Omega_{BG} = \{S_{1BG}, S_{2BG}, \dots, S_{vBG}, \dots, S_{(l-1)BG}, S_{lBG}\}, \quad (3)$$

где Ω_{BG} – алфавит сообщений; S_{vBG} – v -й символ ИМ, причем $v = 1, l$; l – длина алфавита.

В соответствии с правилами синтеза аддитивной дискретно-аналоговой ИМ визуальные образы символов S_{vBG} множества (3) формируются из ряда элементов $a_i \Leftrightarrow a_{xy}$ с последовательными значениями весовой функции, начиная от ее минимальной величины $\bar{\omega}_1 = \bar{\omega}(a_1) = \bar{\omega}(a_{11})$ до $\bar{\omega}_v = \bar{\omega}(a_v)$, которая соответствует представляемым данным. Тогда, согласно ИМ, каждому символу $S_{vBG} \subset \Omega_{BG}$ можно поставить во взаимно однозначное соответствие подмножество $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M$ элементов a_{xy} множества \mathbf{A}^M : $S_{vBG} \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M$. Поэтому для случая, когда ИП задано выражением (2), символы алфавита (3) можно представить с использованием оператора объединения

$$S_{vBG} \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M = \bigcup_{i=1}^v a_i = \{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{x_i y_i}, \dots, a_{x_{v-1} y_{v-1}}, a_{x_v y_v}\}. \quad (4)$$

Из-за возникающей подсветки невыбранных элементов ИП при внутренней матричной электрической организации электрооптического преобразователя невозможно одновременно возбудить все элементы $a_{x_i y_i}$, которые согласно (4) входят во множество $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M$. В этом случае применяется динамическое формирование символов S_{vBG} за ряд последовательных интервалов времени (тактов) [9, 10]. Их количество r определяется используемой ИМ и соответствует алгоритму сканирования ИП, который не вызывает паразитную подсветку элементов, не входящих во множество $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M$. Для этого каждое из l множеств $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M$ разделяется на ряд непересекающихся подмножеств $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{Mq}$, которые возбуждаются в разные такты формирования соответствующего символа S_{vBG} . Тогда произвольное v -е множество $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M$ функционально представляется тождественным множеством $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{MD}$, которое является его динамическим эквивалентом за период T_s синтеза символа S_{vBG} и описывается как

$$\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{MD} = \{\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{M1}, \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{M2}, \dots, \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{Mq}, \dots, \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{M(r-1)}, \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{Mr}\}. \quad (5)$$

Следовательно, для ИМ, реализующей на ИП формирование дискретно-аналогового аддитивного представления данных за r тактов в динамическом режиме, можно записать оператор

$$S_{vBG} \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{MD} = \bigcup_{i=1}^v a_i \Big|_{T_s} = \bigcup_{q=1}^r \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{Mq} \Big|_{T_s}. \quad (6)$$

Полученное выражение отображает принципы динамического синтеза визуальных образов, с помощью которых осуществляется передача информации оператору эргатической системы.

2. Метод защиты информации в визуальном канале передачи данных. Анализ алфавита Ω_{BG} (3) показывает, что в случае отображении информации в виде (6), ключевым составляющей визуального образа любого из символов S_{vBG} является элемент a_v . Его весовая функция

$\bar{\omega}_v = \bar{\omega}(a_v) = \max(\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_v)$ имеет максимальную величину среди значений весовой функции всего множества (4) элементов, образующих символ $S_{V_{BG}}$, и соответствует отображаемому числу. Для рассматриваемой ИМ характерно, что исчезновение в формируемом визуальном образе любого из элементов с $\bar{\omega}_z < \bar{\omega}_v$ не приводит к ошибочной интерпретации оператором переданного сообщения. Кроме

того, поскольку подмножества $\tilde{A}_{V_{BG}}^{Mq}$, образующие множество $\tilde{A}_{V_{BG}}^M$, являются непересекающимися

$\bigcap_{q=1}^r \tilde{A}_{V_{BG}}^{Mq} = \emptyset$, то очевидно, что элемент a_v принадлежит только одному из них: $a_v \in \tilde{A}_{V_{BG}}^{Mv}$. Сле-

довательно, при частичном или полном отказе блоков системы, отвечающих за формирование оптического сигнала в визуальном канале, можно реализовать неискаженную передачу данных оператору за счет полного восстановления информации при ее расшифровке и интерпретации человеком. Для этого в такой ситуации необходимо обеспечить возбуждение подмножества элементов ИП $\tilde{A}_{V_{BG}}^{Mv}$. Очевидно, что результирующий визуальный образ, синтезированный на ИП, не будет соответствовать символу $S_{V_{BG}}$ и, как правило, не будет принадлежать алфавиту сообщений Ω_{BG} , описанному множеством (3). Однако, сообщение, полученное оператором, может быть корректно расшифровано и воспринято благодаря наличию возбужденного элемента a_v на ИП индикатора.

Таким образом, для защиты визуальной информации в эргатических системах с дискретно-аналоговым представлением данных необходимо реализовать:

- постоянный контроль состояние блоков системы, отвечающих за формирование оптического сигнала в визуальном канале;
- выявление частичных или полных отказов узлов, которые обеспечивают формирование символов, входящих в алфавит системы;
- подключение при выявлении неисправного состояния системы дополнительных функциональных средств, которые
 - 1) определяют подмножество элементов ИП электрооптического преобразователя $\tilde{A}_{V_{BG}}^{Mv}$, содержащее ключевой элемент a_v , имеющий весовую функцию $\bar{\omega}_v = \bar{\omega}(a_v) = \max(\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_v)$ и входящий в изображение текущего символа $S_{V_{BG}}$;
 - 2) обеспечивают возбуждение этого подмножества $\tilde{A}_{V_{BG}}^{Mv}$ элементов ИП в динамическом режиме на время, близкое к $t = T_s / r$ за период T_s синтеза символа $S_{V_{BG}}$.

Такая функциональная реализация эргатической системы позволяет защитить информацию, которая передается по визуальному каналу связи с оператором, от случайных или преднамеренных искажений, вызванных преимущественно человеческим фактором, техническими либо программными средствами системы, а также влиянием внешней среды.

3. Реализация защиты визуальной информации. Рассмотрим особенности реализации этого метода применительно к наиболее распространенным ИМ, которые формируют визуальный поток дискретно-аналоговых символов с использованием многоэлементного электрооптического преобразователя, работающего в динамическом режиме. Следует отметить, что визуальный образ синтезируется на ИП в течение периода регенерации изображения T_s и не зависит от типа используемой модели аддитивного дискретно-аналогового представления информации. Такое отображение данных на шкале соответствует выражению (4). При этом в возбужденном состоянии находятся все элементы ИП, начиная от первого элемента с минимальным значением весовой функции $\bar{\omega}_1 = \bar{\omega}(a_1) = \bar{\omega}(a_{11})$ до элемента a_v с $\bar{\omega}_v = \bar{\omega}(a_v) = \bar{\omega}(a_{x_v y_v})$.

На практике широко используются ИМ, основанные на сканировании двумерной матрицы элементов электрооптического преобразователя по одной из координат [9, 10]. В случае формирова-

ния изображения по шинам старших разрядов визуальный символ $S_{V_{BG}}$ синтезируется за $r = n$ тактов, а оператор (6) может быть представлен как [12]

$$\begin{aligned}
 S_{V_{BG}} &\Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{MD} = \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{MD SH} = \bigcup_{i=1}^v a_i \Big|_{T_S} = \bigcup_{q=1}^n \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{Mq SH} \Big|_{T_S} \\
 &= \left\{ \bigcup_{x=1}^E \left(\frac{v}{m} \right) \left[\bigcup_{y=1}^m a_{xy} \Big|_{\substack{t=t+x \\ t=t+(x-1)}} \frac{T_S}{n} \right] \right\} \cup \\
 &\quad \bigcup \left\{ \bigcup_{x=E \left(\frac{v}{m} \right) + 1}^{\left\lceil \frac{v}{m} \right\rceil} \left[\bigcup_{y=1}^m a_{xy} \Big|_{\substack{t=t+x \\ t=t+(x-1)}} \frac{T_S}{n} \right] \right\} \cup \\
 &\quad \bigcup \left\{ \bigcup_{x=E \left(\frac{v}{m} \right) + 2}^n \left[\mathbf{A}_{\emptyset} \Big|_{\substack{t=t+x \\ t=t+(x-1)}} \frac{T_S}{n} \right] \right\},
 \end{aligned} \tag{7}$$

где $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{MD SH}$ – n -элементное множество вида (5), соответствующее рассматриваемому типу динамического режима; E – антье; t – текущее время; \mathbf{A}_{\emptyset} – пустое множество.

При формировании визуального образа символа $S_{V_{BG}}$ согласно оператору (7) происходит перебор значений $x = \overline{1, n}$ с образованием соответствующих множеств $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{Mq SH} = \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{Mx SH}$. Возбуждение элемента a_v происходит при $x = x_v = E \left\lceil \frac{v}{m} \right\rceil + 1$, что соответствует его вхождению в подмножество

$$\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{Mv SH} = \bigcup_{y=1}^m a_{xy} \Big|_{x=E \left(\frac{v}{m} \right) + 1}^{\left\lceil \frac{v}{m} \right\rceil}. \tag{8}$$

При реализации рассматриваемого метода повышения уровня защищенности информации в визуальном канале передачи данных в случае отказа поддерживающих его блоков визуальный образ символа $S_{V_{BG}}$ будет искажен и соответствовать возбуждению множества элементов $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{Mv SH}$, которое описано выражением (8). В результате на ИП будет сформировано изображение, которое оператор может корректно считать и интерпретировать благодаря наличию возбужденного элемента a_v , имеющего максимальное значение весовой функции $\overline{\omega}_v = \overline{\omega}(a_v) = \max(\overline{\omega}_1, \overline{\omega}_v)$.

Другой распространенный вариант многотактного формирования изображения на ИП использует сканирование матрицы электрооптического преобразователя по шинам младших разрядов. В этом случае символ $S_{V_{BG}}$ синтезируется за $r = m$ тактов, а выражение (6) приобретает следующий вид [13]

$$\begin{aligned}
 S_{V_{BG}} \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{MD} &= \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{MD SL} = \bigcup_{i=1}^{\nu} a_i \Big|_{T_S} = \bigcup_{q=1}^m \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{Mq SL} \Big|_{T_S} \\
 &= \left\{ \bigcup_{y=1}^{\nu-m E\left(\frac{\nu}{m}\right)} \left[\bigcup_{x=1}^{E\left(\frac{\nu}{m}\right)+1} a_{xy} \begin{matrix} \left[\begin{matrix} t=t+y \frac{T_S}{m} \\ \vdots \\ t=t+(y-1) \frac{T_S}{m} \end{matrix} \right] \end{matrix} \right] \right\} \cup \\
 &\cup \left\{ \bigcup_{y=\nu-m E\left(\frac{\nu}{m}\right)+1}^m \left[\bigcup_{x=1}^{E\left(\frac{\nu}{m}\right)} a_{xy} \begin{matrix} \left[\begin{matrix} t=t+y \frac{T_S}{m} \\ \vdots \\ t=t+(y-1) \frac{T_S}{m} \end{matrix} \right] \end{matrix} \right] \right\}, \tag{9}
 \end{aligned}$$

где $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{MD SL}$ – m -элементное множество вида (5), соответствующее такому динамическому режиму.

Символ $S_{V_{BG}}$ при реализации оператора (9) синтезируется на ИП за m тактов при изменении $y = \overline{1, m}$. В результате в соответствующий такт формируются подмножества $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{Mq SL} = \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{My SL}$. Среди них при $y = y_{\nu} = \nu - m \cdot E\left(\frac{\nu}{m}\right) - \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M \nu SL}$, содержащее элемент a_{ν} ,

$$\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M \nu SL} = \bigcup_{x=1}^{E\left(\frac{\nu}{m}\right)+1} a_{xy} \Big|_{y=\nu-m E\left(\frac{\nu}{m}\right)} \tag{10}$$

При отказе блоков системы, отвечающих за передачу визуальной информации оператору, применение предлагаемого метода обеспечит возбуждение символа $S_{V_{BG}}$ в искаженном виде, который соответствует множеству элементов $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M \nu SL}$ согласно выражению (10). В результате оператор получит визуальный сигнал, содержащий возбужденный ключевой элемент символа $S_{V_{BG}}$, что позволит корректно считать и интерпретировать информацию соответствующего системного сообщения. Таким образом, для случая многотактного формирования изображения в визуальном канале эргатической системы рассмотренный метод обеспечивает повышение уровня защищенности передаваемых данных при воздействии наиболее распространенных угроз.

Другая, часто используемая группа ИМ базируется на двухтактном синтезе визуальных сообщений, передаваемых оператору [14 – 18]. Здесь можно выделить два принципа разделения множества $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^M$ на два непересекающихся подмножества $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{Mq}$, которые возбуждаются в разные такты синтеза соответствующего символа $S_{V_{BG}}$. Согласно первому из них ИМ представляется как [14]

$$\begin{aligned}
 S_{V_{BG}} \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{MD} &= \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{MD D1} = \bigcup_{i=1}^{\nu} a_i \Big|_{T_S} = \mathbf{I}_{V_{BG}}^{M1 D1} \cup \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M2 D1} \Big|_{T_S} = \\
 &= \left[\bigcup_{x=1}^{E\left(\frac{\nu}{m}\right)} \bigcup_{y=1}^m a_{xy} \begin{matrix} \left[\begin{matrix} t=t+\frac{T_S}{2} \\ \vdots \\ t=t+0 \end{matrix} \right] \end{matrix} \right] \cup \left[\bigcup_{x=E\left(\frac{\nu}{m}\right)+1}^{\nu-m E\left(\frac{\nu}{m}\right)} \bigcup_{y=1}^m a_{xy} \begin{matrix} \left[\begin{matrix} t=t+T_S \\ \vdots \\ t=t+\frac{T_S}{2} \end{matrix} \right] \end{matrix} \right], \tag{11}
 \end{aligned}$$

а для второго можно записать [15]

$$S_{V_{BG}} \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M D} = \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M D D2} = \bigcup_{i=1}^{\nu} a_i \Big|_{T_S} = \mathbf{I}_{M 1 D2}^{V_{BG}} \cup \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M 2 D2} \Big|_{T_S} =$$

$$= \left[\begin{array}{c} E \left(\frac{\nu}{m} \right) + 1 \\ \bigcup_{x=1} \end{array} \nu - m E \left(\frac{\nu}{m} \right) \Big|_{i=t+0}^{i=t+\frac{T_S}{2}} a_{xy} \right] \cup \left[\begin{array}{c} E \left(\frac{\nu}{m} \right) \\ \bigcup_{x=1} \end{array} \bigcup_{y=\nu-m E \left(\frac{\nu}{m} \right) + 1}^m a_{xy} \Big|_{i=t+\frac{T_S}{2}}^{i=t+T_S} \right], \quad (12)$$

где $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M D D1}$, $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M D D2}$ – множества вида (5), которые соответствуют рассматриваемым вариантам двухтактного динамического режима.

При формировании символа $S_{V_{BG}}$ в соответствии с выражениями (11) и (12) поочередно возбуждаются два множества элементов. В первом случае, исходя из оператора (11), a_{ν} принадлежит множеству

$$\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M V D1} = \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M 2 D1} = \bigcup_{y=1}^{\nu - m E \left(\frac{\nu}{m} \right)} a_{xy} \Big|_{x=E \left(\frac{\nu}{m} \right) + 1}. \quad (13)$$

Во втором случае, который описан оператором (12), a_{ν} является элементом множества

$$\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M V D2} = \tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M 1 D2} = \bigcup_{x=1}^{E \left(\frac{\nu}{m} \right) + 1} \bigcup_{y=1}^{\nu - m E \left(\frac{\nu}{m} \right)} a_{xy}. \quad (14)$$

Отказ узлов, обеспечивающих функционирование визуального канала эргатической системы, при использовании предлагаемого метода для двухтактных реализаций ИМ, также, как и в ранее рассмотренных случаях, приводит к формированию на ИП искаженных символов. Их оптическое представление для этих вариантов синтеза ИМ будет определяться множествами элементов $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M V D1}$ или $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M V D2}$ в соответствии с формулами (13) и (14). Несмотря на несоответствие символов, порожденных возбуждением множеств элементов ИП $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M V D1}$ и $\tilde{\mathbf{A}}_{V_{BG}}^{M V D2}$ алфавиту Ω_{BG} , такие изображения, благодаря присутствию в них a_{ν} , позволяют оператору корректно расшифровать информацию, передаваемую в системе. Это свидетельствует о том, что применение рассматриваемого метода позволяет повысить защищенность данных при возникновении в системе типичных угроз их целостности.

В заключение можно сказать следующее. Рассмотренный метод формирования дискретно-аналогового аддитивного представления информации обеспечивает повышение уровня безопасности данных, которые передаются оператору эргатической системы, за счет использования особых информационных параметров визуальных образов, входящих в алфавит, используемый системой. Предложено сохранение возбуждения на ИП ключевого элемента a_{ν} визуального образа в случае нарушения функционирования критических узлов, связанных с обслуживанием оптического канала передачи сообщений, вызванных воздействием преднамеренных или случайных факторов. Как правило, наиболее уязвимыми являются блоки, участвующие в динамическом синтезе изображения на ИП, в том числе, средства формирования тактовой последовательности, блоки коммутации кодов, элементы коммутационной структуры электрооптического преобразователя и т.п. Результатом является прогнозируемое и контролируемое искажение визуальных образов символов алфавита, которое обеспечивает корректное восстановление передаваемых сообщений.

Практическая реализация представленного метода позволит создать достаточно простые и эффективные средства передачи информации оператору по визуальному каналу с высоким уровнем защищенности данных при проявлении в системе действия типичных угроз их содержанию и целостности. Благодаря использованию цифровых принципов предложенный аналитический подход может служить основой для перспективных исследований и разработок надежных оптоэлектронных информационно-измерительных и управляющих систем общепромышленного и специального назначения с высоким уровнем безопасности обрабатываемых данных.

Литература

1. Герасименко В. А. Защита информации в автоматизированных системах обработки данных. Кн. 1 / В. А. Герасименко. – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 400 с.
2. Герасименко В. А. Защита информации в автоматизированных системах обработки данных. Кн. 2 / В. А. Герасименко. – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 176 с.
3. Системное проектирование взаимодействие человека с техническими средствами ; под ред. В. Н. Четверикова ; [В. М. Гасов, А. В. Меньков, Л. А. Соломонов, А. В. Шигин]. – М. : Высш. школа, 1990. – 205 с. – (Серия “Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ” : в 7 кн., кн. 7).
4. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / П. П. Орнатский. – К. : Вища школа, 1983. – 455 с.
5. Герасименко В. А. Основы защиты информации / В. А. Герасименко, А. А. Малюк. – М. : МОПО, МИФИ, 1997. – 537 с.
6. Гришина Н. В. Организация комплексной системы защиты информации / Н. В. Гришина. – М. : Гелиос АРВ, 2007. – 256 с.
7. Малюк А. А. Информационная безопасность: концептуальные и методологические основы защиты информации / А. А. Малюк. – М. : Горячая линия-Телеком, 2004. – 280 с.
8. Литвинов В. А. Контроль достоверности и восстановление информации в человеко-машинных системах / В. А. Литвинов, В. В. Крамаренко. – К. : Техніка, 1986. – 200 с.
9. Яблонский Ф. М. Средства отображения информации / Ф. М. Яблонский, Ю. В. Троицкий. – М. : Высш. школа, 1985. – 200 с.
10. Применение оптоэлектронных приборов : пер. с англ. / [С. Гейг, Д. Эванс, М. Ходапп, Х. Соренсен]. – М. : Радио и связь, 1981. – 344 с.
11. Бушма А. В. Анализ и оптимизация интегрированных оптоэлектронных устройств вывода информации дискретно-аналогового типа / А. В. Бушма, Г. А. Сукач // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2002. – Т. 45, № 7 – 8, [ч. 1]. – С. 30–37.
12. Bushma A. V. Model of dynamic indication in the bar graph form / A. V. Bushma, N. I. Sypko // Semiconductor physics, Quantum Electronics and Optoelectronics. – 2002. – Vol. 5. – № 2. – P. 193–196.
13. Бушма А. В. Формирование аддитивного шкального представления информации на многоэлементном светодиодном индикаторе измерительного прибора / А. В. Бушма, Г. А. Сукач // Измерительная техника. – 2003. – № 1. – С. 16–19.
14. Бушма А. В. Двухтактное формирование отсчета на светодиодном дискретно-аналоговом индикаторе / А. В. Бушма, Н. И. Сыпко // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. – 1988. – Вып. 13. – С. 77–81.
15. Бушма А. В. Оптимизация динамического дискретно-аналогового представления данных / А. В. Бушма, Г. А. Сукач // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2003. – № 7. – С. 66–72.
16. Пат. 55343 Україна, МПК⁵ G 01 R 13/00. Пристрій для відображення вимірювальної інформації / О. В. Бушма, І. Д. Кушнеров, П. Ф. Олексенко, М. І. Сипко, В. В. Беккер ; заявник та власник Ін-т фізики напівпровідників НАН України. – № 3711158 ; заявл. 26.01.84 ; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3.
17. Пат. 55344 Україна, МПК⁵ G 01 R 13/00. Пристрій керування дискретно-аналоговим індикатором / О. В. Бушма, В. В. Беккер, В. М. Бухнаєв, І. П. Грінберг, П. Ф. Олексенко, М. І. Сипко ; заявник та власник Ін-т фізики напівпровідників НАН України. – № 3785391 ; заявл. 25.06.84 ; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3.
18. Пат. 55345 Україна, МПК⁵ G 01 R 13/00. Пристрій індикації вимірювального приладу / О. В. Бушма, І. П. Грінберг, М. І. Сипко, Г. Д. Хомяков, В. І. Новосьолов ; заявник та власник Ін-т фізики напівпровідників НАН України. – № 3793215 ; заявл. 11.07.84 ; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3.
19. Сигорский В. П. Математический аппарат инженера / В. П. Сигорский. – К. : Техніка, 1975. – 768 с.