

## КВАЗИОПТИМАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ПАРНОКОРРЕЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В СИЛЬНЫХ ПУАССОНОВСКИХ ШУМАХ

к.т.н. Т.А. Стрелкова, к.ф.-м.н. А.М. Стадник, С.И. Калмыков  
(представил д.т.н., проф. А.И. Стрелков)

*Предложена квазиоптимальная схема обнаружителя парнокоррелированного потока сигналов на фоне интенсивных пуассоновских шумов. Существенно более простая в реализации, чем синтезированная авторами ранее оптимальная по критерию Неймана - Пирсона схема обнаружителя, данная схема сводится к подсчету пар сигналов, разнесенных во времени не больше, чем интервал парной корреляции. Приведены условия ее применимости и дан их физический анализ.*

**1. Введение.** Принципы и алгоритмы оптимального обнаружения и оценивания параметров оптического излучения на основе его фотонного представления являются ключевыми при разработке перспективных и совершенствовании существующих оптических систем связи и локации [1-5]. Эти же вопросы возникают и при синтезе алгоритмов обнаружения и оценивания различных параметров случайных потоков общего вида [6, 7], примерами которых могут служить модели процессов радиоактивности, тепловой эмиссии электронов и т.д.

Исторически сложилось так, что наиболее часто и плодотворно при решении задач обнаружения и оценивания оптического излучения использовалось его представление в виде пуассоновского потока сигнальных и шумовых фотонов [7, 8].

Широкая распространенность пуассоновской модели для описания случайных потоков самой разной природы связана как с ее простотой (поскольку в пуассоновском потоке отсутствуют корреляции между моментами появления событий потока), так и с возможностью получения замкнутых аналитических выражений. В то же время общепризнанным является понимание того, что для адекватного описания реальных процессов необходим учет корреляций между моментами появления событий случайного потока.

В тех случаях, когда интенсивность корреляций убывает с ростом их порядка (тройные корреляции слабее парных, четверные – слабее тройных и т.д.), основной эффект дают парные корреляции. Парнокоррелированным называют поток, у которого существенны лишь попарные корреляции между моментами наступления событий [6].

Особую актуальность эффекты парной корреляции отдельных фотонов [10] приобрели в последнее время в связи с работами в области квантовых компьютеров и квантовой криптографии [11].

Вопросы обнаружения парнокоррелированного потока рассматривались в предыдущих работах авторов [12, 13], где был синтезирован алгоритм оптимального по критерию Неймана-Пирсона обнаружителя, а также получены выражения и рекуррентные соотношения для функций, через которые выражаются плотности вероятности произвольного парнокоррелированного потока.

Практическая реализация полученных в [12, 13] алгоритмов обнаружения парнокоррелированного потока представляет собой довольно сложную задачу, включающую в себя расчеты либо по рекуррентным соотношениям, либо по громоздким комбинаторным формулам. При цифровой обработке и одно, и другое требует существенных затрат времени и оперативной памяти ЭВМ, что обуславливает необходимость разработки квазиоптимальных алгоритмов обнаружения парнокоррелированного потока.

Целью данной работы является построение квазиоптимальной схемы обнаружителя парнокоррелированного потока на фоне интенсивных пуассоновских шумов и анализ условий ее применимости.

**2. Основные определения.** В данной работе, как и в предыдущих [12, 13], при описании случайных потоков будет использоваться аппарат производящих функционалов. Напомним, следуя [6], основные определения.

Рассмотрим произвольный случайный поток – появление на временном интервале  $(0, T)$  в случайные моменты времени  $\tau_1, \dots, \tau_k$  случайного числа  $k$  событий ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ). Как частный случай случайного процесса, он обычно описывается набором плотностей вероятности  $\pi_k(\tau_1, \dots, \tau_k; T)$ .

При таком подходе  $\pi_k(\tau_1, \dots, \tau_k; T) d\tau_1 \dots d\tau_k$  представляет собой вероятность появления  $k$  событий в интервалах  $d\tau_j$  около точек  $\tau_j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) и неоявления любого числа событий в остальной части интервала  $(0, T)$ . Симметричные (в силу неразличимости событий) относительно перестановок аргументов  $\tau_1, \dots, \tau_k$  плотности  $\pi_k(\bar{\tau}; T) = \pi_k(\tau_1, \dots, \tau_k; T)$  удовлетворяют условию нормировки

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \int d\bar{\tau} \pi_k(\bar{\tau}; T) = 1, \quad (1)$$

где для упрощения записи введен вектор  $\bar{\tau} = (\tau_1, \dots, \tau_k)$  и сокращение

$$\int d\bar{\tau} = \prod_{j=1}^k \int_0^T d\tau_j .$$

Существование еще трех эквивалентных систем функций [6] приводит к тому, что эквивалентное описание случайных потоков можно также эффективно осуществлять посредством производящего функционала (ПФЛ), определяемого как

$$L[\mathbf{u}; T] = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \int d\bar{\tau} \pi_k(\bar{\tau}; T) \prod_{j=1}^k [1 + \mathbf{u}(\tau_j)] ,$$

где  $\mathbf{u}(\tau)$  - произвольная функция на интервале  $(0, T)$ . Отсюда следует, что плотности  $\pi_k(\tau; T)$  представляют собой вариационные производные от производящего функционала  $L[\mathbf{u}; T]$  в точке  $\mathbf{u}(\tau) = -1$ :

$$\pi_k(\tau; T) = \left. \frac{\delta^k L[\mathbf{u}; T]}{\delta \mathbf{u}(\tau_1) \dots \delta \mathbf{u}(\tau_k)} \right|_{\delta \mathbf{u}(\tau_j) = -1} .$$

Представление ПФЛ в виде

$$L[\mathbf{u}; T] = \exp \left[ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k!} \int d\tau \mathbf{g}_k(\tau) \prod_{j=1}^k \mathbf{u}(\tau_j) \right] \quad (2)$$

является более удобным для характеристики случайных потоков по степени корреляции появления событий, поскольку вводимые таким образом корреляционные функции потока  $\mathbf{g}_k(\tau) \equiv \mathbf{g}_k(\tau_1, \dots, \tau_k)$  отражают тенденцию  $k$  событий к группированию при положительных корреляциях и к их “расталкиванию” – при отрицательных.

Парнокоррелированным называется поток, у которого отличны от нуля только корреляционные функции  $\mathbf{g}_1(\tau)$  и  $\mathbf{g}_2(\tau_1, \tau_2)$ , а его ПФЛ имеет, соответственно, вид [6]:

$$L[\mathbf{u}; T] = \exp \left[ \int_0^T d\tau \mathbf{g}_1(\tau) \mathbf{u}(\tau) + \frac{1}{2} \int_0^T d\tau_1 \int_0^T d\tau_2 \mathbf{g}_2(\tau_1, \tau_2) \mathbf{u}(\tau_1) \mathbf{u}(\tau_2) \right] . \quad (3)$$

Как показано в [12, 13], плотности  $\pi_k(\tau; T)$  для произвольного парнокоррелированного потока можно представить в виде

$$\pi_k(\tau_1, \dots, \tau_k; T) = P_0(T) \prod_{i=1}^k \chi_1(\tau_i; T) U_k(\tau_1, \dots, \tau_k; T) , \quad (4)$$

где функция

$$\chi_1(\tau; T) = \mathbf{g}_1(\tau) - \int_0^T d\tau' \mathbf{g}_2(\tau, \tau') ,$$

а  $U_k(\tau_1, \dots, \tau_k; T)$  при  $k \geq 2$  находится из рекуррентных соотношений

$$U_k(\tau_1, \dots, \tau_k; T) = U_{k-1}(\tau_1, \dots, \tau_{k-1}; T) + \sum_{i=1}^{k-1} q(\tau_i, \tau_k) U_{k-2}(\tau_1, \dots, \tau_{i-1}, \tau_{i+1}, \dots, \tau_{k-1}; T) \quad (5)$$

с начальными условиями  $U_0 = 1$ ;  $U_1(\tau_1) = 1$ .

В соотношениях (5)  $U_{k-2}(\tau_1 \dots \tau_{i-1}, \tau_{i+1} \dots \tau_{k-1}; T)$  – функция  $k-2$  аргументов, получаемых из упорядоченного множества  $(\tau_1, \tau_2 \dots \tau_{k-1})$  исключением  $i$ -го члена ( $1 \leq i \leq k-1$ ), функция  $q(\tau, \tau') = \frac{\chi_2(\tau, \tau')}{\chi_1(\tau; T)\chi_1(\tau'; T)}$ , а

$$\chi_2(\tau, \tau') = g_2(\tau, \tau').$$

В формуле (4) вероятность того, что в интервале  $(0, T)$  не появится ни одной точки, дается выражением

$$P_0(T) = \exp \left[ -G_1(T) - \frac{1}{2} G_2(T) \right], \quad (6)$$

где величины  $G_1(T)$  и  $G_2(T)$  есть интегралы от корреляционных функций

$$G_1(T) = \int_0^T d\tau_1 g_1(\tau_1), \quad G_2(T) = \int_0^T d\tau_1 \int_0^T d\tau_2 g_2(\tau_1, \tau_2).$$

Отметим также, что поскольку среднее число событий  $\bar{n}$  по результатам наблюдения произвольного потока на всем интервале  $(0, T)$  – находится как  $\bar{n} = G_1(T)$ , то  $g_1(\tau)$  имеет смысл интенсивности потока.

**3. Постановка задачи.** Пусть на вход приемного устройства поступает смесь парнокоррелированного потока полезных сигналов, характеризующего производящим функционалом

$$L^c[u; T] = \exp \left[ \int_0^T d\tau g_1^c(\tau) u(\tau) + \frac{1}{2} \int_0^T d\tau_1 \int_0^T d\tau_2 g_2^c(\tau_1, \tau_2) u(\tau_1) u(\tau_2) \right], \quad (7)$$

и пуассоновского потока шумовых сигналов, ПФЛ которого имеет, соответственно, вид

$$L^u[u; T] = \exp \left[ \int_0^T d\tau g_1^u(\tau) u(\tau) \right], \quad (8)$$

где функции  $g_1^c(\tau)$  и  $g_2^c(\tau_1, \tau_2)$  представляют собой интенсивность и корреляционную функцию сигнального потока, а  $g_1^u(\tau)$  – интенсивность шумового потока.

Для статистически независимых сигнального и шумового потоков производящий функционал их суммы равен произведению парциальных ПФЛ [6]:

$$\mathbf{L}^{c+u}[\mathbf{u}; \mathbf{T}] = \mathbf{L}^c[\mathbf{u}; \mathbf{T}] \cdot \mathbf{L}^u[\mathbf{u}; \mathbf{T}],$$

что в нашем случае с учетом (7) и (8) дает [12]:

$$\mathbf{L}^{c+u}[\mathbf{u}; \mathbf{T}] = \exp \left[ \int_0^{\mathbf{T}} d\tau \mathbf{g}_1^{c+u}(\tau) \mathbf{u}(\tau) + \frac{1}{2} \int_0^{\mathbf{T}} d\tau_1 \int_0^{\mathbf{T}} d\tau_2 \mathbf{g}_2^{c+u}(\tau_1, \tau_2) \mathbf{u}(\tau_1) \mathbf{u}(\tau_2) \right], \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} \mathbf{g}_1^{c+u}(\tau) &= \mathbf{g}_1^c(\tau) + \mathbf{g}_1^u(\tau); \\ \mathbf{g}_2^{c+u}(\tau_1, \tau_2) &= \mathbf{g}_1^c(\tau_1, \tau_2). \end{aligned} \quad (10)$$

Таким образом, сумма двух независимых парнокоррелированного сигнального и пуассоновского шумового потоков также является парнокоррелированным потоком, корреляции которого выражаются через корреляции слагаемых посредством (10).

$$\text{Для логарифма отношения правдоподобия } l = \ln \left( \frac{\pi_k^{c+u}(\tau_1, \dots, \tau_k; \mathbf{T})}{\pi_k^u(\tau_1, \dots, \tau_k; \mathbf{T})} \right)$$

в [12] получено выражение

$$l = \ln U_k^{c+u}(\tau_1 \dots \tau_k) + \sum_{i=1}^k \ln \left[ 1 + \frac{\chi_1^c(\tau_i; \mathbf{T})}{\chi_1^u(\tau_i; \mathbf{T})} \right] + \ln P_0^c(\mathbf{T}). \quad (11)$$

Здесь  $U_k^{c+u}(\tau_1 \dots \tau_k)$  определяется соотношениями (5), в которых теперь нужно полагать

$$q^{c+u}(\tau', \tau'') = \frac{\chi_2^{c+u}(\tau', \tau'')}{\chi_1^{c+u}(\tau'; \mathbf{T}) \chi_1^{c+u}(\tau''; \mathbf{T})}. \quad (12)$$

Так называемые  $\chi$ -плотности [6] первого и второго порядков для смеси сигнала и шума равны:

$$\begin{aligned} \chi_1^{c+u}(\tau; \mathbf{T}) &= \chi_1^c(\tau; \mathbf{T}) + \chi_1^u(\tau; \mathbf{T}); \\ \chi_2^{c+u}(\tau', \tau'') &= \chi_2^c(\tau', \tau'') = \mathbf{g}_2^c(\tau', \tau''), \end{aligned}$$

причем функции  $\chi_1^c(\tau; \mathbf{T})$  и  $\chi_1^u(\tau; \mathbf{T})$  выражаются через корреляции как

$$\chi_1^c(\tau; \mathbf{T}) = \mathbf{g}_1^c(\tau) - \int_0^{\mathbf{T}} d\tau' \mathbf{g}_2^c(\tau, \tau'), \quad \chi_1^u(\tau; \mathbf{T}) = \mathbf{g}_1^u(\tau),$$

а вероятность отсутствия сигнала на всем интервале  $(0, \mathbf{T})$ , в соответствии с формулой (6), есть

$$P_0^c(\mathbf{T}) = \exp[-G_1^c(\mathbf{T}) + 1/2 \cdot G_2^c(\mathbf{T})],$$

$$\text{где } \mathbf{G}_1^c(\mathbf{T}) = \int_0^T d\tau_1 \mathbf{g}_1^c(\tau_1); \quad \mathbf{G}_1^c(\mathbf{T}) = \int_0^T d\tau_1 \int_0^T d\tau_2 \mathbf{g}_1^c(\tau_1, \tau_2).$$

Согласно (11), достаточную статистику образуют два первых слагаемых, и оптимальный обнаружитель содержит два параллельных канала. В первом из них производится обработка, соответствующая входному потоку не сливающимся в двукратные пар сигналов определенной статистической структуры, во втором – обработка, соответствующая пуассоновскому входному потоку интенсивности  $\chi_1^c(\tau; \mathbf{T})$ . Сумма вкладов от обоих каналов сравнивается затем с порогом  $\mathbf{h}$ , зависящим от априорной интегральной характеристики  $\ln P_0^c(\mathbf{T})$  обнаруживаемого потока сигналов.

Теперь мы имеем все необходимые заготовки для синтеза квазиоптимального обнаружителя парнокоррелированных сигналов в пуассоновских шумах.

**4. Квазиоптимальный обнаружитель парнокоррелированного потока.** Рассмотрим случай уровня шумов, достаточно высокого для выполнения неравенства (впрочем, как будет показано ниже, это неравенство легко выполнить при высоком уровне парных корреляций в сигнальном потоке):

$$\chi_1^c(\tau_i; \mathbf{T}) \ll \chi_1^m(\tau_i; \mathbf{T}). \quad (13)$$

Тогда во втором члене достаточной статистики (11) можно полагать

$$\sum_{i=1}^k \ln \left[ 1 + \frac{\chi_1^c(\tau_i; \mathbf{T})}{\chi_1^m(\tau_i; \mathbf{T})} \right] \approx \sum_{i=1}^k \frac{\chi_1^c(\tau_i; \mathbf{T})}{\chi_1^m(\tau_i; \mathbf{T})}, \quad (14)$$

а в первом – пренебречь в знаменателе выражения для  $\mathbf{q}^{c+m}(\tau', \tau'')$  слагаемыми  $\chi_1^c(\tau_i; \mathbf{T})$  по сравнению с  $\chi_1^m(\tau_i; \mathbf{T})$  и приближенно считать, что

$$\mathbf{q}^{c+m}(\tau', \tau'') \approx \frac{\mathbf{g}_2^c(\tau', \tau'')}{\chi_1^m(\tau'; \mathbf{T}) \chi_1^m(\tau''; \mathbf{T})}. \quad (15)$$

Если уровень шумов достаточно высок и для выполнения неравенства

$$\frac{\mathbf{g}_2^c(\tau', \tau'')}{\chi_1^m(\tau'; \mathbf{T}) \chi_1^m(\tau''; \mathbf{T})} \ll 1, \quad (16)$$

то, в соответствии с (15),  $\mathbf{q}^{c+m}(\tau', \tau'') \ll 1$ , и в выражениях для  $\mathbf{U}_k^{c+m}(\tau_1, \dots, \tau_k)$  можно оставить только линейные по  $\mathbf{q}^{c+m}(\tau', \tau'')$  члены. Тогда из рекуррентных соотношений (5) имеем

$$\mathbf{U}_k^{c+m}(\tau_1, \dots, \tau_k; \mathbf{T}) = 1 + \sum_{1 \leq i < j \leq k} \mathbf{q}^{c+m}(\tau_i, \tau_j),$$

а для первого члена достаточной статистики

$$\ln U_k^{c+\text{ш}}(\tau_1, \dots, \tau_k; \mathbf{T}) \approx \sum_{1 \leq i < j \leq k} q^{c+\text{ш}}(\tau_i, \tau_j). \quad (17)$$

Если, наконец, вторым членом можно пренебречь по сравнению с первым

$$\sum_{i=1}^k \frac{\chi_1^c(\tau_i; \mathbf{T})}{\chi_1^{\text{ш}}(\tau_i; \mathbf{T})} \ll \sum_{1 \leq i < j \leq k} q^{c+\text{ш}}(\tau_i, \tau_j), \quad (18)$$

то для достаточной статистики имеем окончательно

$$l_{\text{дост}} = \frac{1}{\lambda_{\text{ш}}^2} \sum_{1 \leq i < j \leq k} g_2^c(\tau_i, \tau_j), \quad (19)$$

где для простоты предполагалось, что пуассоновский шумовой поток является стационарным:  $\chi_1^{\text{ш}}(\tau; \mathbf{T}) = g_1^{\text{ш}}(\tau) = \lambda_{\text{ш}}$ . Простейшая структурная схема, соответствующая (19), представлена на рис. 1 (ПУ – решающее устройство,  $h$  – порог принятия решения). По мере поступления сигналов в моменты времени  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_k$  производится вычисление функций  $g_2^c(\tau_i, \tau_j)$ , суммирование полученных значений и их сравнение с заданным порогом.

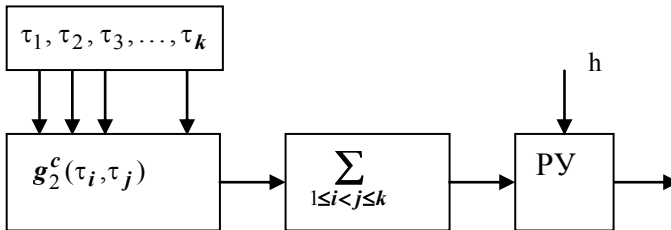


Рис. 1. Структурная схема квазиоптимального обнаружителя парнокоррелированного потока в пуассоновском шуме

В отличие от схемы оптимального обнаружителя, задаваемого выражением (11), квазиоптимальный обнаружитель (19), во-первых, является одноканальным, а во-вторых, для его построения не нужны сложные неалгебраические операции и расчет рекуррентных соотношений, поскольку он содержит только операцию попарного суммирования с весом  $g_2^c(\tau_i, \tau_j)$ . Более простая реализация приводит не только к ухудшению рабочих характеристик обнаружителя, но и к определенным ограничениям на его работу.

Раскроем физический смысл неравенств (13), (16) и (18), исходя из того, что степень парных корреляций в произвольном (в нашем случае – сигнальном) парнокоррелированном потоке определяется, как показано

в [12], отношением  $\mathbf{r}(\mathbf{T}) = \mathbf{G}_2^c(\mathbf{T}) / \mathbf{G}_1^c(\mathbf{T})$ , причем значение  $\mathbf{r}(\mathbf{T}) = \mathbf{0}$  соответствует отсутствию парных корреляций, а максимальное значение  $\mathbf{r}(\mathbf{T}) = \mathbf{1}$  – вырождению в поток парных событий.

Проинтегрировав неравенства (13) и (16) по интервалу  $(\mathbf{0}, \mathbf{T})$ , получим:

$$\begin{aligned} \bar{n}_c(1 - \mathbf{r}(\mathbf{T})) &<< \lambda_{\text{ш}} \mathbf{T}; \\ \mathbf{r}(\mathbf{T}) \bar{n}_c &<< (\lambda_{\text{ш}} \mathbf{T})^2; \end{aligned} \quad (20)$$

$$\lambda_{\text{ш}} << \frac{\sum_{1 \leq i < j \leq k} g_2^c(\tau_i, \tau_j)}{\sum_{i=1}^k \chi_1^c(\tau_i; \mathbf{T})}. \quad (21)$$

Первое из неравенств (20) легко выполнить, если парные корреляции в сигнальном потоке достаточно интенсивны  $\mathbf{r}(\mathbf{T}) \approx \mathbf{1}$ . Тогда второе из них сводится к несколько необычному условию  $\lambda_{\text{ш}} \gg \sqrt{\bar{n}_c} / \mathbf{T}$  (необычность заключается в наличии корня квадратного из среднего числа сигнальных событий).

Неравенство (21) накладывает на интенсивность шума ограничения сверху: дело в том, что высокая интенсивность шума проявляется в большой частоте следования шумовых сигналов, и могла бы по алгоритму (19) ошибочно восприниматься квазиоптимальным обнаружителем как проявление парных корреляций в сигнальном потоке.

При прямоугольной форме корреляционной функции  $g_2^c(\tau_i, \tau_j)$  (когда  $g_2^c(\tau_i, \tau_j) = \text{const}$  при  $|\tau_i - \tau_j| \leq \Delta$  и  $g_2^c(\tau_i, \tau_j) = \mathbf{0}$  во всех остальных случаях,  $\Delta$  – интервал парных корреляций), квазиоптимальное обнаружение заключается просто в подсчете пар сигналов, разнесенных во времени не больше, чем на  $\Delta$ . Такая схема легко реализуется формированием (при поступлении каждого нового события) строба продолжительностью  $\Delta$ , в течение которого открыт блок счетчика.

**5. Заключение.** Таким образом, в работе синтезирован квазиоптимальный алгоритм обнаружителя парнокоррелированного потока сигналов на фоне пуассоновских шумов. Данная схема существенно проще в реализации, чем оптимальная, поскольку сводится к подсчету пар сигналов, разнесенных во времени не больше, чем на интервал парной корреляции.

Условиями применимости данного алгоритма являются наличие интенсивных парных корреляций в сигнальном потоке и ограничения на уровень шумов: с одной стороны, он должен быть достаточно (в зависимости от уровня полезного сигнала) высоким, с другой – ограничен сверху, чтобы большая частота следования шумовых сигналов не вос-



принималась квазиоптимальным обнаружителем как проявление парных корреляций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шереметьев А.Г. *Статистическая теория лазерной связи*. – М.: Связь, 1971. – 264 с.
2. Гальярди Р.М., Карп Ш. *Оптическая связь*. – М.: Связь, 1978. – 424 с.
3. Lambert S.G., Casey W.L. *Laser communications in space*. - Boston : Artech House, 1995. – 390 p.
4. Волохатюк В.А., Кочетков В.М., Красовский Р.Р. *Вопросы оптической локации*. – М.: Сов. радио, 1971. – 256 с.
5. Курикса А.А. *Квантовая оптика и оптическая локация*. – М.: Сов. радио, 1973. – 184 с.
6. Большаков И.А., Ракошиц В.С. *Прикладная теория случайных потоков*. – М.: Сов. радио, 1978. – 248 с.
7. Ван Кампен Н.Г. *Стохастические процессы в физике и химии*. – М.: Высш. школа, 1990. – 376 с.
8. Reiffen B., Sherman H. *An optimum demodulator for Poisson processes* // *Proc. IEEE*. – 1963. – Vol. 51, no 10. – P. 1316 - 1320.
9. Gagliardi R.M., Karp S. *M-ary Poisson detection and optical communication* // *IEEE Trans. Commun. Technol.* – 1969, Vol. COM-17, no 4. – P. 1611 - 1626.
10. Mandel L. *Quantum effects in one-photon and two-photon interference* // *Rev. Mod. Phys.* – 1999. – Vol. 71, no 2. – P. 274 - 282.
11. Steane A. *Quantum computing* // *Rep. Prog. Phys.* – 1998. – Vol. 61, no 2. – P. 117 - 173.
12. Стрелков А.И., Стадник А.М., Калмыков С.И., Лытюга А.П. *Обнаружение парнокоррелированного потока сигналов на фоне пуассоновского шума* // *Радиотехника (Харьков)*. – 1999. – Вып. 112. – С. 3 - 11.
13. Стадник А.М. *Оптимальное обнаружение парнокоррелированного потока сигналов на фоне парнокоррелированного шума* // *Радиофизика и радиоастрономия*. – 1999. – Т. 4. – № 4. – С. 331 - 341.

Поступила 25.06.2002

**СТРЕЛКОВА Татьяна Александровна**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1992 году окончила радиофизический факультет ХГУ. Область научных интересов – цифровые методы обработки оптических сигналов, статистическая обработка оптических сигналов.

**СТАДНИК Александр Михайлович**, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1976 году окончил физический факультет ХГУ. Область научных интересов – распространение волн в случайно-неоднородных средах, математические методы оптимальной обработки сигналов.

**КАЛМЫКОВ Сергей Иванович**, доцент Харьковского военного университета. В 1979 году окончил Харьковское ВВКИУ им. Крылова. Область научных интересов – оптическая локация, цифровые методы обработки оптических сигналов.