

УДК 535.4(076.5); 621.382

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА В ФОТОННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Прыгунов Александр Германович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Радиоэлектроника»

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет».

E-mail: agprygunov@mail.ru

Адрес: 344000, Российская Федерация, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Аннотация: Рассматривается возможность использования голографического интерферометра в фотонных телекоммуникационных устройствах. Предлагается технология улучшения технических характеристик фотонных телекоммуникационных устройств на основе использования в них голографического интерферометра, реализующего пространственно-спектральный метод голографической интерферометрии. Для практического использования в фотонных телекоммуникационных устройствах построена математическая модель взаимосвязи параметров информационного электрического сигнала, модулирующего световой поток, с пространственно-спектральным распределением интенсивности оптического поля в плоскости интерферограммы, формируемой голографическим интерферометром.

Ключевые слова: фотоника, телекоммуникационные устройства, информационный электрический сигнал, голографический интерферометр, оптическое излучение, модуляция, фаза светового потока, интерферограмма, математическая модель.

Современный этап развития человеческой цивилизации характеризуется переходом к так называемому «информационному обществу», существование которого обеспечивают информационно-телекоммуникационные системы [1]. Характерной особенностью этого общества является лавинообразно растущий объём передаваемой информации. Это обуславливает возрастание требований к техническим характеристикам телекоммуникационных устройств. Постоянно растёт спрос на устойчивую, достоверную и сверхбыструю связь. Перспективным направлением реализации этих требований является фотоника [2, 3], использование которой характеризует современный подход к построению телекоммуникационной аппаратуры. В устройствах фотоники используют преобразование параметров информационного электрического сигнала в соответствующие им параметры оптического излучения и обратное этому преобразование. По сравнению с аналогичными по функциональному назначению электронными устройствами изделия с использованием фотоники обеспечивают более высокое быстродействие, больший динамический диапазон, как по частоте, так и

по уровню информационного сигнала, снижение энергопотребления и уровня шумов, возможность вариации параметров и характеристик сигналов в широком диапазоне значений [3, 4]. Одной из технологий улучшения технических характеристик устройств современной фотоники является их схемное построение с использованием голографического интерферометра, реализующего пространственно-спектральный метод голографической интерферометрии [5, 6]. Голографический интерферометр такого типа является элементом, чувствительным к частоте, фазе и кривизне волнового фронта когерентного светового потока, падающего в плоскость голограммы интерферометра [5, 7]. При изменении этих параметров светового потока соответствующим образом изменяются параметры интерферограммы, формируемой голографическим интерферометром. Помимо этого, параметры формируемой интерферограммы зависят от параметров самого интерферометра: условий экспонирования и размеров его голограммы, угла между голограммой и плоским зеркалом, размещённым в непосредственной близости за голограммой и под малым углом к ней, а также от

расстояния между голограммой и этим зеркалом [5]. Для преобразования параметров информационного электрического сигнала в однозначно соответствующие им параметры интерферограммы необходимо модулировать этим сигналом либо частоту, либо фазу, либо кривизну волнового фронта или угол падения на голограмму одного из световых потоков, формирующих интерферограмму. Другим решением задачи модуляции параметров светового потока является изменение по закону модулирующего электрического сигнала или угла, или расстояния между голограммой и плоским зеркалом голографического интерферометра, что приводит к изменениям фазы светового потока, падающего на голограмму со стороны плоского зеркала.

Целью статьи является анализ взаимосвязи параметров информационного электрического сигнала с параметрами интерферограммы, формируемой голографическим интерферометром при его использовании в фотонных телекоммуникационных устройствах.

Для достижения цели статьи решается задача построения математической модели взаимосвязи параметров информационного электрического сигнала с параметрами интерферограммы, формируемой голографическим интерферометром.

При разработке схем помехоустойчивого кодирования, являющихся основной частью внутреннего модема, довольно часто используется модель аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ) в качестве модели искажения. Использование приближения АБГШ позволяет строить относительно простые математические модели для описания процесса декодирования и определять качество разработанного кода относительно границы Шеннона. В реальности статистика шума с выхода внешнего модема приёмника обычно не соответствует АБГШ модели, которая не учитывает многие эффекты, такие как влияние канала распространения, интерференцию, искажения радиотракта и другие, что приводит к деградации характеристик декодера. Для минимизации данного негатив-

ного эффекта требуется разработка блоков согласования между внешним и внутренним модемом приёмника.

Голографический интерферометр представляет собой объёмную голограмму отражательно-пропускающего типа и плоское зеркало, размещаемое за голограммой под малым углом к ней, и обеспечивает формирование интерферограммы, параметры которой однозначно определяются схемой записи голограммы, параметрами оптической схемы при реконструкции изображения и параметрами световых потоков, падающих на голограмму интерферометра [5]. При модуляции информационным электрическим сигналом светового потока, падающего непосредственно на голограмму интерферометра, или светового потока, отражаемого плоским зеркалом голографического интерферометра, происходит преобразование параметров электрического сигнала в параметры когерентного светового потока в виде изменений фазы и (или) кривизны волнового фронта светового потока. Задача модуляции светового потока может быть реализована путём использования известных физических эффектов: электрооптического, акустооптического или пьезоэффекта [8, 9].

Голографическая интерферограмма формируется световым потоком, падающим на голограмму со стороны оптического излучателя и частично дифрагировавшим от неё, и световым потоком, частично прошедшим через голограмму, отражённым плоским зеркалом и частично прошедшим через голограмму интерферометра в обратном направлении [5, 7]. При этом, для формирования интерферограммы используются световые потоки, имеющие сферические волновые фронты. В качестве голограммы в интерферометре используется отражательно-пропускающая голограмма, экспонированная в линейном режиме во встречных световых пучках. На рис. 1 в векторной форме иллюстрируются процессы экспонирования голограммы и формирования интерферограммы голографическим интерферометром с отражательно-пропускающей голограммой.

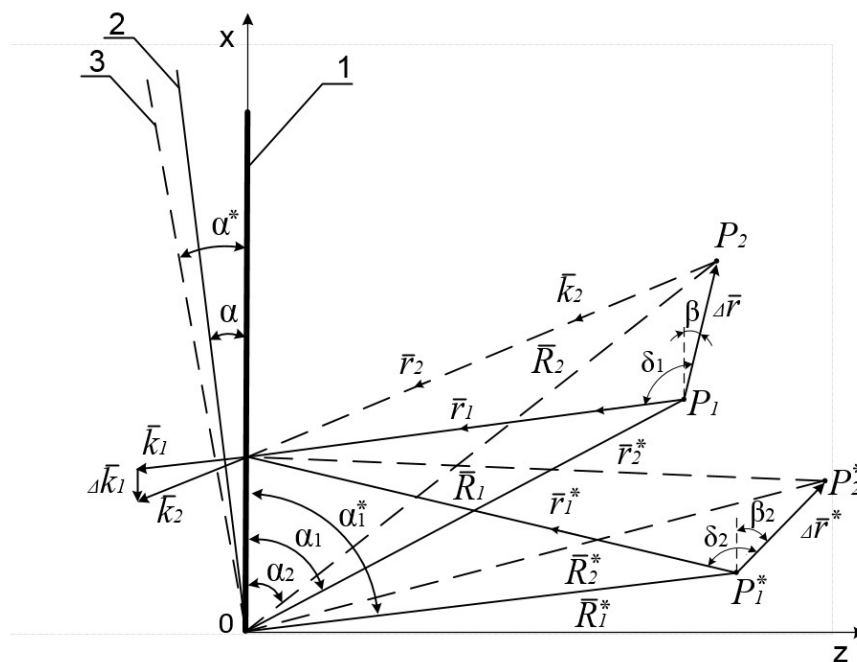


Рис. 1. Процессы экспонирования голограммы и формирования интерферограммы голографическим интерферометром

На рис. 1 использованы обозначения: 1 — отражательно-пропускающая голограмма голографического интерферометра; 2 — положение плоского зеркала при экспонировании голограммы; 3 — положение плоского зеркала при модуляции световых потоков в голографическом интерферометре; XOZ — прямоугольная система координат (ось X лежит в плоскости голограммы); α — угол между голографической фотопластинкой и плоским зеркалом при экспонировании голограммы; α^* — угол между голограммой и плоским зеркалом при падении на голограмму модулированных световых потоков, формируемых действительным и (или) мнимым точечными источниками света; P_1 — положение в пространстве действительного точечного источника когерентного светового потока при экспонировании голограммы; P_1^* — положение в пространстве мнимого точечного источника светового потока, формируемого плоским зеркалом, при экспонировании голограммы; P_2 — положение в пространстве действительного точечного источника когерентного светового потока при

модуляции светового потока, формируемого действительным точечным источником света; P_2^* — положение в пространстве мнимого точечного источника светового потока при модуляции действительного и/или мнимого световых потоков; $\bar{R}_i, \bar{R}_i^*, \bar{r}_i, \bar{r}_i^*, \Delta\bar{r}, \Delta\bar{r}^*$ и $\alpha, \alpha^*, \alpha_1, \alpha_2, \beta, \beta_2, \delta_1, \delta_2$ — соответственно векторы и углы, характеризующие положение точечных источников световых потоков в пространстве.

Для удобства рассмотрения процесса формирования оптического поля в плоскости голограммы точки положения в пространстве фазовых центров мнимых источников световых потоков переносятся в определённые координатами точек P_1, P_2 , а также положением плоского зеркала и голограммы, точки P_1^* и P_2^* верхнего полупространства.

Коэффициент пропускания (T) голограммы, экспонированной в соответствии с рис. 1, может быть записан в следующем виде [10, 11]:

$$T = T_0 + T_1 \cos(\bar{k}_1 \bar{r}_1 - \bar{k}_1^* \bar{r}_1^*), \quad (1)$$

где T_0 — коэффициент пропускания прямой волны; T_1 — коэффициент пропускания дифрагированной волны; \bar{k}_1, \bar{k}_1^* — волновые векторы.

При фазовой модуляции световых потоков, формируемых действительным (находящимся в точке P_1) и (или) мнимым (находящимся в точке P_1^*) точечными источниками света происходит смещение в пространстве соответствующих фазовых центров точечных источников этих световых потоков, с изменением, тем самым, кривизны их волновых фронтов. В результате фазовой модуляции происходит перемещения в пространстве точечного источника действительного светового потока из точки P_1 в точку P_2 и происходит адекватное этому перемещение формируемого плоским зеркалом точечного источника мнимого светового потока из точки P_1^* в точку P_2^* . Между координатами точечных источников световых потоков существует связь:

$$|\bar{R}_1^*| = |\bar{R}_1| = R_1; \quad (2)$$

$$|\alpha_1^*| = |\alpha_1 + 2\alpha|, \quad (3)$$

где \bar{R}_1^* — вектор положения точки P_1^* относительно начала координат; $|\bar{R}_1|$ — вектор положения точки P_1 относительно начала координат.

Перемещение в пространстве точки P_1 действительного точечного источника светового потока характеризуется вектором смещения $\bar{\Delta r}$. Направление и модуль этого вектора определяют пространственную частоту в плоскости интерферограммы [5, 7]. Интерферограмма формируется в плоскости голограммы и проецируется во встречном направлении относительно светового потока, формируемого действительным точечным источником света, и в сторону от его оптической оси [7].

Рассмотрим возможные параметры для фазовой модуляции световых потоков в гологра-

фическом интерферометре информационным электрическим сигналом. Пространственно-спектральное распределение интенсивности оптического поля в плоскости формируемой интерферограммы определяется соотношением [5, 10, 11]:

$$I = I_0 + I_1 \cos \varphi, \quad (4)$$

где I_0 — член, характеризующий постоянный световой фон; I_1 — амплитуда интенсивности света в интерференционных полосах;

$$\varphi = (\bar{k}_1 \bar{r}_1 - \bar{k}_1^* \bar{r}_1 - \bar{k}_2 \bar{r}_2 + \bar{k}_2^* \bar{r}_2); \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \bar{k}_2 &= \bar{k}_1 + \Delta \bar{k}_1; \quad \bar{k}_2^* = \bar{k}_1^* + \Delta \bar{k}_1^*; \\ \bar{r}_2 &= \bar{r}_1 - \Delta \bar{r}; \quad \bar{r}_2^* = \bar{r}_1^* - \Delta \bar{r}^*. \end{aligned} \quad (6)$$

Первые два члена в выражении (5) для фазы светового потока характеризуют амплитудно-фазовое распределение оптического поля в плоскости голограммы при её экспонировании, а третий и четвёртый члены характеризуют фазовую разность интерферирующих световых потоков при модуляции оптического излучения информационным электрическим сигналом. Рассмотрим эти члены более подробно. Из рис. 1 видно, что вектор перемещений $\bar{\Delta r}$ характеризуется модулем Δr и углом β , а вектор перемещений $\bar{\Delta r}^*$ характеризуется модулем Δr^* и углом β_2 . Именно эти параметры можно использовать для модуляции световых потоков информационным электрическим сигналом.

С учётом обозначений, использованных на рис. 1, соотношений (5) и (6) и при условии, что $\Delta r \ll r_1$ и $\Delta r^* \ll r_1^*$, можно записать:

$$\varphi = (\bar{k}_1 \Delta \bar{r} - \bar{k}_1^* \Delta \bar{r}^* + \Delta \bar{k}_1 \bar{\Delta r} - \Delta \bar{k}_1^* \bar{\Delta r}^*). \quad (7)$$

Рассматривая треугольники, образованные векторами $\bar{r}_1, \bar{\Delta r}, \bar{r}_2$ и $\bar{k}_1, \Delta \bar{k}_1, \bar{k}_2$, запишем:

$$(\bar{k}_1 + \Delta \bar{k}_1) \Delta \bar{r} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \left(\cos \delta_1 - \frac{\Delta r \sin^2 \delta_1}{r_1 - \Delta r \cos \delta_1} \right), \quad (8)$$

где λ — длина волны света.

Аналогичное соотношение получается при рассмотрении мнимых источников света. В

результате выражение для переменной φ может быть записано следующим образом:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \left(\cos \delta_1 - \cos \delta_2 - \frac{\Delta r \sin^2 \delta_1}{r_1 - \Delta r \cos \delta_1} + c \frac{\Delta r^* \sin^2 \delta_2}{r_2^* - \Delta r^* \cos \delta_2} \right), \quad (9)$$

где

$$\cos \delta_1 = \frac{x \cos \beta - R_1 \cos(\beta - \alpha)}{R_1 - x \cos \alpha}; \quad (10)$$

$$\cos \delta_2 = \frac{x \cos \beta_2 - R_1 \cos(\beta_2 - \alpha_1 - 2\alpha)}{R_1 - x \cos(\alpha_1 + 2\alpha)}; \quad (11)$$

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{\sin(\alpha_1 - \beta) \sin(2\alpha^* + \alpha_2) - \sin(\alpha_1 + 2\alpha) \sin(\alpha_2 - \beta)}{\sin(\alpha_1 - \beta) \cos(2\alpha^* + \alpha_2) - \cos(\alpha_1 + 2\alpha) \sin(\alpha_2 - \beta)}; \quad (12)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\Delta r \sin \beta + R_1 \sin \alpha_1}{\Delta r \cos \beta + R_1 \cos \alpha_1}, \quad (13)$$

$$\Delta r^* = R_1 \frac{\sin[(\alpha_1 + 2\alpha) - (\alpha_2 + 2\alpha^*)]}{\sin(\alpha_2 + 2\alpha^* - \beta_2)}. \quad (14)$$

При использовании в качестве модулируемых параметры Δr и (или) β , т.е. при модуляции информационным электрическим сигналом светового потока, формируемого действительным точечным источником света в точке P_1 , в процессе модуляции изменяется положение фазового центра этого светового потока относительно плоскости голограммы и меняется кривизна его волнового фронта. В этом случае, в зависимости от модулируемого параметра (Δr и (или) β), можно записать

$$\Delta r(U_C(t), t) = f[U_C(t), \Phi(t)]; \quad (15)$$

$$\beta(U_C(t), t) = f[U_C(t), \Phi(t)], \quad (16)$$

где $\Delta r(U_C(t), t)$ — модуль изменения положения фазового центра действительного точечного источника светового потока P_1 (рис. 1) относительно плоскости голограммы при воздействии на модулятор напряжения информационного электрического сигнала $U_C(t)$ с фазой $\Phi(t)$, определяемой параметрами этого сигнала,

а $\beta(U_C(t), t)$ — угол, определяющий направление перемещения фазового центра P_1 действительного точечного источника светового потока относительно плоскости голограммы.

Для электрооптического модулятора из ниобата лития при использовании линейного поперечного электрооптического эффекта для модуля $\Delta r(U_C(t), t)$ перемещения фазового центра P_1 точечного источника исходного светового потока вдоль оптической оси модулятора можно записать [6, 12, 13]:

$$\Delta r(U_C(t), t) = \frac{L}{\operatorname{tg} \alpha_1} [\operatorname{tg} \alpha_{21}(U_C(t), t) - \operatorname{tg} \alpha_{20}]; \quad (17)$$

$$\alpha_{20} = \arcsin \left(\frac{\sin \alpha_1}{n_0} \right); \quad (18)$$

$$\alpha_{21}(U_C(t), t) = \arcsin \left[\frac{\sin \alpha_1}{n_0 - \Delta n(U_C(t), t)} \right], \quad (19)$$

$$\Delta n(U_C(t), t) = \frac{n_0^3}{2d} r_{13} U_C(t), \quad (20)$$

где L — линейный размер электрооптического кристалла; α_1 — угол между световым лучом, совпадающим с образующей телесного угла, ограничивающего световой поток, падающий на торцевую грань электрооптического кристалла, и нормалью к этой грани; α_{20} — угол преломления в электрооптическом кристалле оптического луча, падающего на торцевую грань этого кристалла под углом α_1 при отсутствии напряжения на электродах этого кристалла; $\alpha_{21}(U_C(t), t)$ — угол преломления в электрооптическом кристалле оптического луча, падающего на торцевую грань этого кристалла под углом α_1 при наличии напряжения $U_C(t)$ на электродах этого кристалла; n_0 — эффективный показатель преломления электрооптического кристалла при отсутствии напряжения на его электродах; r_{13} — электрооптический коэффициент; d — расстояние между электродами.

Необходимо отметить, что характеристики электрооптического кристалла выбираются такими, чтобы обеспечить линейную зависимость между параметрами $\Delta r(U_c(t), t)$ и $U_c(t)$. Угол β при такой модуляции будет определяться параметрами конструкций голографического интерферометра и электрооптического модулятора и их взаимным расположением.

Изменяя пространственное положение и угол наклона плоского зеркала голографического интерферометра в соответствии с изменениями амплитуды информационного электрического сигнала $U_c(t)$, т.е., модулируя световой поток, отражаемый плоским зеркалом путём изменения параметров Δr^* и (или) β_2 , изменяем, тем самым, положение фазового центра P_1^* мнимого точечного источника светового потока относительно плоскости голограммы. Пропорционально этому изменяется и кривизна волнового фронта светового потока, формируемого этим точечным источником света. Для технической реализации такого модулятора кривизны волнового фронта (фазы) светового потока может быть использован модулятор на основе пьезоэффекта, обеспечивающий линейное (линейно пропорциональное амплитуде информационного электрического сигнала) перемещение поверхности плоского зеркала голографического интерферометра относительно плоскости голограммы этого интерферометра. В этом случае, по аналогии с (15) и (16), можно записать:

$$\Delta r^*(U_c(t), t) = f[U_c(t), \Phi(t)]; \quad (21)$$

$$\beta_2(U_c(t), t) = f[U_c(t), \Phi(t)]. \quad (22)$$

Независимо от способа фазовой модуляции световых потоков, формирующих интерферограмму в голографическом интерферометре, пропорционально изменениям амплитуды модулирующего информационного электрического сигнала в плоскости интерферограммы будет изменяться пространственно-

спектральное распределение интенсивности оптического поля. В соответствии с выражениями (9–22) координаты максимумов интенсивности оптического поля в плоскости интерферограммы на оси X (рис. 1) будут определяться из соотношения [5]:

$$\cos \delta_{1\max} - \cos \delta_{2\max} - \frac{\Delta r \sin^2 \delta_{1\max}}{r_1 - \Delta r \cos \delta_{1\max}} + \frac{\Delta r^* \sin^2 \delta_{2\max}}{r_1^* - \Delta r^* \cos \delta_{2\max}} = \frac{\lambda n}{\Delta r}, \quad (23)$$

а координаты минимумов интенсивности оптического поля могут быть найдены из уравнения [5]:

$$\cos \delta_{1\min} - \cos \delta_{2\min} - \frac{\Delta r \sin^2 \delta_{1\min}}{r_1 - \Delta r \cos \delta_{1\min}} + \frac{\Delta r^* \sin^2 \delta_{2\min}}{r_1^* - \Delta r^* \cos \delta_{2\min}} = \frac{(2n+1)\lambda}{2\Delta r}. \quad (24)$$

Анализ выражений (9–24) показывает однозначную зависимость координат максимумов и минимумов интенсивности оптического поля в плоскости голографической интерферограммы от модулируемых параметров: $\Delta r(U_c(t), t)$, $\beta(U_c(t), t)$, $\Delta r^*(U_c(t), t)$ и $\beta_2(U_c(t), t)$.

При выполнении условий $\Delta r \ll r_1$ и $\Delta r^* \ll r_1^*$ третьим и четвёртым слагаемыми в выражениях (9), (23) и (24) можно пренебречь [14]. В этом случае после подстановки в выражения (23) и (24) соотношений (10–14) и (17–20), координаты максимумов и минимумов интенсивности оптического поля на оси X (рис.1) в плоскости интерференции будут решениями полученных уравнений.

Полученные расчётные соотношения показывают однозначное соответствие между информационным модулирующим сигналом $U_c(t)$ и пространственно-спектральным распределением интенсивности оптического поля в плоскости голографической интерферограммы и могут быть использованы при проектировании фотонных телекоммуникационных устройств.

Заключение

Анализ полученных расчётных соотношений и результаты проведённых исследований позволяют сделать обоснованный вывод о том, что путём использования голографического интерферометра имеется возможность построения фотонных телекоммуникационных устройств с электрооптическим преобразованием информационного электрического сигнала в пространственно-спектральное распределение интенсивности оптического поля, однозначно соответствующее этому сигналу. Это позволяет реализовывать преимущества фотонных телекоммуникационных устройств (более высокое быстродействие, больший динамический диапазон, как по частоте, так и по уровню информационного сигнала, снижение энергопотребления и уровня шумов, возможность вариации параметров и характеристик сигналов в широком диапазоне значений) [2, 3] по сравнению с аналогичными по функциональному назначению электронными телекоммуникационными устройствами.

Литература

1. Украинцев Ю.Д., Курилова О.Л. Роль информации и телекоммуникационных технологий в формировании глобального информационного общества. Закономерности. Проблемы информационного общества: учебно-методическое пособие. Ульяновск: УлГУ, 2015. 238 с.
2. Межведомственная программа исследований и разработок в области фотоники на 2017–2020 годы. Разработана на основании Протокола заседания президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России от 9 июля 2014 г. № 4.

Поступила 11 февраля 2021 г.

3. Кирчанов В.С. Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики: учебное пособие. Пермь: Изд-во Перм. нац. иссл. политех. ун-т, 2019. 221 с.

4. Белкин М.Е., Кудж С.А., Сизов А.С. Новые принципы построения радиоэлектронной аппаратуры СВЧ-диапазона с использованием радиофотонной технологии // Российский технологический журнал, № 1(10), 2016. С. 4–20.

5. Прыгунов А.Г., Сизов В.П., Безуглов Д.А. Метод определения перемещений объектов на основе анализа волновых фронтов оптического поля с использованием эталонных голограмм // Оптика атмосферы и океана, 1995. № 6. С. 826–830.

6. Прыгунов А.Г. Применение инноваций при разработке радиотехнических систем / Коллективная монография под общ. ред. М.Ю. Звездиной. М.: Изд. Дом Академии Естествознания, 2015. 224 с.

7. Безуглов Д.А., Прыгунов А.Г., Трещачев В. В. Анализ дифракции света на эталонной голограмме при измерении перемещений объектов пространственно-спектральным методом // Автотметрия. СО РАН. 1998. № 5. С. 21–28.

8. Матвеев А.Н. Основы оптики. М.: Мир, 1989. 685 с.

9. Шаратов В.М. Пьезоэлектрические датчики. М.: Техносфера, 2006. 632 с.

10. Милер М. Голография: Пер. с чеш. / пер. А.С. Сударушкин, В.И. Лусников. Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. 207 с.

11. Дуденкова В.В. Оптическая голография: Учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. 55 с.

12. Моисеев Н.Н., Золоторевский С.Ю. Эталонные средства измерений в оптической интерферометрии. М.: ВНИИМС, 2012. №8. С. 35–37.

13. Семёнов А.С., Смирнов В.Л., Шмалько А.В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. М.: Радио и связь, 1990. 224 с.

14. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1974. 832 с.

English

PHYSICAL BASIS OF A HOLOGRAPHIC INTERFEROMETER USE IN PHOTONIC TELECOMMUNICATIONS DEVICES

Aleksandr Georgievich Prygunov — PhD, associated professor of the Radioelectronics Department of Don State Technical University.

E-mail: agprygunov@mail.ru

Address: 344000, Russian Federation, Rostov-on-Don, Gagarin square, 1.

Abstract: Photonics is a promising direction for improving the equipment of telecommunications systems. In comparison with similar functional electronic devices, products using photonics provide higher performance, a greater dynamic range, both in frequency and in the level of the information signal, reduced energy

consumption and noise level, the possibility of varying the parameters and characteristics of the signals in a wide range of values. The possibility of using a holographic interferometer in photonic telecommunications devices is considered. A technology for improving the technical characteristics of photonic telecommunications devices based on the use of a holographic interferometer that implements the spatial-spectral method of holographic interferometry is proposed. A holographic interferometer of this type is a three-dimensional reflecting-transmitting hologram and a flat mirror placed behind the hologram at a small angle to it, and is an element that is sensitive to the frequency, phase, and curvature of the wave front of a coherent light stream incident in the plane of the interferometer hologram. When these parameters of the light flux change, the parameters of the interferogram generated by the holographic interferometer change accordingly. The holographic interferogram is formed by the light flux incident on the hologram from the optical emitter and partially diffracted from it, and the light flux partially passed through the hologram, reflected by a flat mirror and partially passed through the hologram of the interferometer in the opposite direction. At the same time, light fluxes with spherical wave fronts are used to form an interferogram. A mathematical model of the formation of this interferogram by a holographic interferometer is constructed. The parameters of the interferometer design are specified, the change of which leads to a change in the parameters of the interferogram. Mathematical relations are obtained that show a dependence of the interferogram parameters on the spatial position of the phase centers of the real and imaginary point light sources used in the holographic interferometer for the formation of this interferogram. For practical use in photonic telecommunications devices, a mathematical model of the relationship between the parameters of the information electrical signal modulating the luminous flux and the spatial-spectral distribution of the optical field intensity in the plane of the interferogram formed by a holographic interferometer is constructed.

Keywords: photonics, telecommunications devices, information electrical signal, holographic interferometer, optical radiation, modulation, phase of light flux, interferogram, mathematical model.

References

1. *Ukraintsev Yu.D., Kurilova O.L.* The role of information and telecommunications technologies in the formation of the global information society. Patterns. Problems of the information Society: educational and methodical manual. Ulyanovsk: UISU, 2015. 238 p.
2. Interdepartmental program of research and development in the field of photonics for 2017–2020. Developed on the basis of the Minutes of the meeting of the Presidium of the Presidential Council for Economic Modernization and Innovative Development of Russia dated July 9, 2014 No. 4.
3. *Kirchanov V.S.* Physical bases of nanotechnologies of photonics and optoinformatics: a textbook. Perm: Publishing house of Perm National Research Polytechnic University, 2019. 221 p.
4. *Belkin M.E., Kudzh S.A., Sigov A.S.* New principles of construction of radio-electronic equipment of the microwave range using radiophoton technology. Russian Technological Journal, No. 1 (10), 2016. Pp. 4–20.
5. *Prygunov A.G., Sizov V.P., Bezuglov D.A.* Method for determining object movements based on the analysis of optical field wave fronts using reference holograms. Optics of the atmosphere and ocean, 1995. No. 6. Pp. 826–830.
6. *Prygunov A.G.* Application of innovations in the development of radio engineering systems. Collective monograph ed. by M.Yu. Zvezdina. House of the Academy of Natural Sciences, 2015. 224 p.
7. *Bezuglov D.A., Prygunov A.G., Trepachev V.V.* Analysis of light diffraction on a reference hologram when measuring the movements of objects by the spatial-spectral method. SB RAS. 1998. No. 5. Pp. 21–28.
8. *Matveev A.N.* Osnovy optiki. Moscow: Mir, 1989. 685 p.
9. *Sharapov V.M.* Piezoelectric sensors. Moscow: Technosphere, 2006. 632 p.
10. *Miler M.* Holography: transl. from Czech. by A.S. Sudarushkin, V.I. Lusnikov. Leningrad: Mashinostroenie, 1979. 207 p.
11. *Dudenkova V.V.* Optical holography: A textbook. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University, 2015. 55 p.
12. *Moiseev N.N., Zolotarevsky S.Y.* Reference measuring in optical interferometry. Moscow: VNIIMS, 2012. No. 8. Pp. 35–37.
13. *Semenov A.S., Smirnov V.L., Shmalko V.A.* Integrated optics for data transmission and information processing. Moscow: Radio i svyaz', 1990. 224 p.
14. *Korn G., Korn T.* Handbook of Mathematics for researchers and engineers. Moscow: Nauka, 1974. 832 p.