

МИНИСТЕРСТВО ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И  
КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
КАРШИНСКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*факультет*

*КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ*

*кафедра*

**ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

**«Физические процессы оптического компьютера»**

Выпускник: \_\_\_\_\_ Р Халилов.

ПОДПИСЬ

Руководитель: \_\_\_\_\_ доц. А Шайкулов.

ПОДПИСЬ

**«Допущен к защите»**

**Отправлен в ГАК для  
защиты:**

*Заведующий кафедры*

*декан факультета*

**«Информационных технологий»**

**«Компьютерный**

**инжиниринг»**

*д.э.н. Х.С.Мухитдинов* \_\_\_\_\_

*С.Б.Давронов* \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015й

“ \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015й

**Карши 2015**

**МИНИСТЕРСТВО ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И  
КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
КАРШИНСКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
факультет  
КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ**

*Направление “Информатика и информационные технологии”*

*«Утверждаю»*  
— *Зав.кафедры “ИТ”*  
— *Д.э.н. Х.С.Мухитдинов* \_\_\_\_\_  
*«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015й*

**ЗАДАНИЕ**

*По выпускной квалификационной работе*

**Студент:**

**Халилов Рустам.**

- 1. Тема ВКР:** *«Физические процессы оптического компьютера»*
- 2. Утверждено указом № \_\_\_\_\_** Каршинского филиала ТУИТ
- 3. Срок сдачи ВКР \_\_\_\_\_ 2015й \_\_\_\_\_**
- 4. Начальная информация для квалификационной работы:** *Физические процессы световых волн, Преобразование Фурье, Гильберта. Основные элементы оптических процессоров, Оптические процессоры, применены разработанной технологии в учебных учреждениях, техника безопасности при работе с Оптическим компьютером,*
- 5. Содержание расчётно-пояснительной записки** (перечень подлежащих к разработке вопросов) *Научно – физические процессы оптического компьютера. Технология и методика создания электронной системы образования. Безопасность жизнедеятельности.*
- 6. Графические материалы, слайды:**

**7. Консультанты по ВКР:**

№	Название раздела	Консультант	Подпись, число	
			Дата для задания	Подпись консультанта
1	Физические процессы световых волн	Дусаяров А.		
4	Безопасность жизнедеятельности	Рахимов О.Д.		

## 8. Календарный график по выполнению квалификационной работы:

№	Раздела ВКР	Объём ВКР, страницы	По отношению к общему объёму %	Заметка о выполнении	Примечания
	<b>Введение</b>				
<b>I</b>	<b>Физические процессы световых волн</b>				
1.1.	Физический процесс интерференция света				
1.2.	Физический процесс дифракция, дисперсия принцип Гюйгенса – Френеля				
1.3.	Фотонные, когерентные, бистабильные физические процессы обучения				
<b>II</b>	<b>Преобразование Фурье, Гильберта. Основные элементы оптических процессоров</b>				
2.1.	Преобразование Фурье				
2.2.	Преобразование Гильберта				
2.3.	Оптические, логические функции				
2.4.	Базовая логическая функция “ИЛИ-НЕ”/”И-НЕ” демонстрационная модель				
2.5.	Оптический RS-триггер				
2.6.	Голографический физический процесс				
<b>III</b>	<b>Оптические процессоры</b>				
3.1	Векторно, строчно, столбично физической оптический процессор				
3.2	Когерентно физический оптический процессор				
3.3	Специализированные оптические процессоры				
3.4	Операция преобразование Фурье				
3.5	Пространственная фильтрация				
3.6	Корреляционный анализ				
3.7	Оптический компьютер «DOC-II»				
<b>IV</b>	<b>Безопасность жизнедеятельности</b>				
	Заключение				
	Список литературы				
	Приложение				
	Всего				

Руководитель по ВКР: \_\_\_\_\_

доц. А.Шойкулов.

Студент: \_\_\_\_\_

Р Халилов.

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СВЕТОВЫХ ВОЛН**

- 1.1 Физический процесс интерференция света
- 1.2 Физический процесс дифракция, дисперсия принцип Гюйгенса – Френеля
- 1.3 Фотонные, когерентные, бистабильные физические процессы обучения

### **ГЛАВА 2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ, ГИЛЬБЕРТА.**

- 2.1 Преобразование Фурье
- 2.2 Преобразование Гильберта
- 2.3 Оптические, логические функции
- 2.4 Базовая логическая функция “ИЛИ-НЕ”/”И-НЕ” демонстрационная модель
- 2.5 Оптический RS-триггер
- 2.6 Голографический физический процесс

### **ГЛАВА 3. ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССОРЫ**

- 3.1 Векторно, строчно, столбично физической оптический процессор
- 3.2 Когерентно физический оптический процессор
- 3.3 Специализированные оптические процессоры
- 3.4 Операция преобразование Фурье
- 3.5 Пространственная фильтрация
- 3.6 Корреляционный анализ
- 3.7 Оптический компьютер «DOC-II»

### **ГЛАВА 4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНИДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие науки и техники идет по пути быстрого и постоянно увеличивающегося роста потока информации подлежащего переработке и использованию. По этому проблема эффективное и своевременной обработки больших массивов информации приобретает все большие значение. Несмотря достигнутые успехи прогресс цифровой вычислительной технике в значительной мере отстает от взрастающих требований. Уже в настоящее время имеется много задач, которые ЦЭВМ не способны решать с требуемой скоростью. Можно указать например, многопараметрические задачи управления производством и технологическими процессами. В связи с этим специалисты отыскивают новые методы и средства обработки информации, с помощью которых можно успешно преодолеть возникшие трудности.

Большое место в проводимых исследованиях уделяется большое внимание оптическим компьютером и средствам обработки информации. Бурное развитие когерентной оптики и голографии, обусловленное появлением лазеров вновь обратило внимание специалистов на возможность выполнения ряда вычислительных операций оптическими методами. Интерес к оптическим методам обработки информации обусловлен исключительно высокой информационной емкостью светового поля как переносчика информации, высокой скоростью распространения оптических сигналов фотонов и сравнительной легкостью осуществления целого ряда интегральных операций над двумерными массивами информации. Работы по созданию оптических процессоров начались еще в 80-х гг. оптический процессор должен был использовать специальные элементы в которых свет управляет светом. Логические операции представлены как взаимодействия вещества со светом. В принципе работы и создании оптических, логических элементов, триггеров, и других базовых логических функции в принципе работы и построение основное значения имеет физические процессы.

## ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СВЕТОВЫХ ВОЛН

Свет представляет собой сложное явление:

В одних случаях он ведет себя как электромагнитная волна в других как поток особых частиц фотонов скорость фотонов  $V_{\phi} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$  является самой высокой скоростью по сравнению скорости электронов нейромпульсов и др. в настоящий время ведется интенсивное исследование во всем мире по теории оптических физических процессов к примеру, операция преобразования Фурье над двумя комплексными функциями для оптического анализа спектра пространственных частот. На основе прямого и обратного Фурье преобразование операции над изображением операции называемое дифференциальном преобразованием Гильберта.

Используемое метода корреляционного анализа теоритически и физически применимое для обработки двумерных функции а самое главное осуществление согласованной пространственной фильтрации применяемое в оптических компьютерах и других направлений наука – техники и др.

Как известно в ЭВМ дискретного действие...

Системная исчисления базируется на двойную информации 0,1.

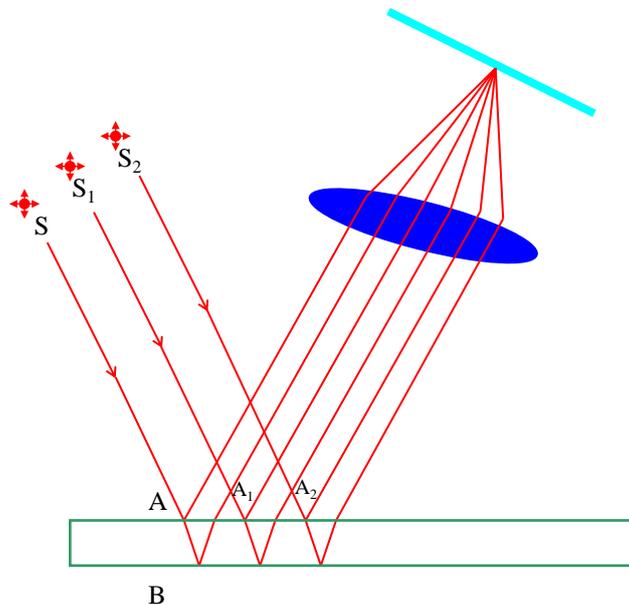
По аналогии и теории подобия в физическом отношения в логических функциях оптических процессорах в итоге оптическом компьютером так используется цифре «0» и «1» благодаря физического процесса оптическая бистабильность происходит в системах нелинейной обратной связи где происходит взаимодействие оптического или светового луча с веществом. В результате такого физического процесса происходит оптическая поляризация светового излучения с двумя устойчивыми «1» и «0». Этот бистабильный физический процесс с значением «1» и «0» Используется во всех логических функциях оптических процессорах оптического компьютера.

## 1.1. ФИЗИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА.

Физический процесс интерференция света возникает тогда когда разность физических складываемых комбинации света  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  во времени сохраняется. Такие световые волны для которых разность  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  остается постоянном во времени принятию называть когерентными. Когерентные световые волн достаточно широко применяется оптических процессах оптических, логических функции ИЛИ-НЕ оптических процессорах и др.

Интерференционный процесс света наблюдается в тонких пленках

Физический процесс интерференции в тонких пленках



отраженном свете, в проходящем свете схема интерференции на тонких пленках сщр 37  $r_k$  кольца Ньютона соответствующая интерференционному максимуму

$$r_k = \sqrt{\frac{R\lambda(2k + 1)}{2}}$$

Компьютерная моделирующая вычисляющая программа модель на структурном модульном языке программирования для интерференционному на основе функции  $r_k$

Program inter max (input, output);

Var R,  $\lambda$ , K,  $r_k$  : integer ;

Begin

Read [R,  $\lambda$ , K];

Write [ $r_k$ ];

$r_k = \text{SQRT}(R * \lambda * (2 * K + 1) / 2)$

Write LN ( $r_k$ );

End.

В программе input, output входные файлы.

**R,  $\lambda$ , K** – переменные аргументы целого типа  $r_k$  – вычисляемое ферменная функция.

**Read** – чтение аргументов R,  $\lambda$ , K

**Write** – вывод на экран функции  $r_k$

$r_k = \text{SQRT}((R * \lambda * K + 1) / 2)$  – вычисление  $r_k$

**Write LN ( $r_k$ )** – вывод результата

## 1.2. ФИЗИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ДИФРАКЦИЯ, ДИСПЕРСИЯ ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА – ФРЕНЕЛЯ.

### ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

Явления дифракции так же как и явление интерференции характерна для волнового процесса света. Под дифракцией подразумевается огибанием светом (вольном) различных препятствий т.е

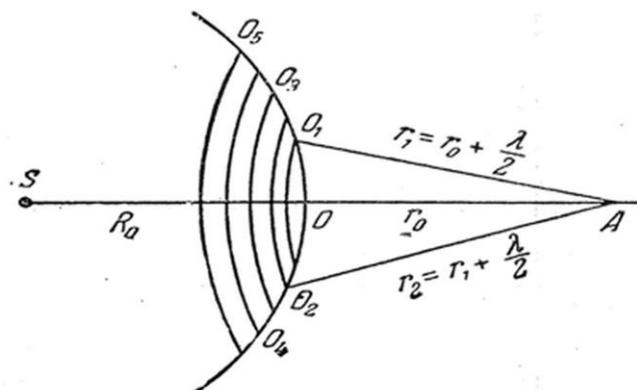
Отклонение света (вольны) от своего прямолинейного распространения.

Волновой процесс возникает тогда когда изменение физическом величины в коком либо точки среды вызывают соответствующие изменение с

соседних местах. Если какой либо точке возбуждаются периодические изменение (колебания) такой физической величины электрического магнитного полей то эти колебания распространяются в виде волн следовательно такой связи между значениями колеблющейся величины в разных точках среды является принцип Гюйгенса.

Естественно что периодические данной физической величины (в случае света напряженности электрического и магнитного полей) в точке до которой дошла световая волна будет в свою очередь будет вызывать периодические изменение рассматриваемое физической величины соседних точках т.е. иными словами то это точка само становится источником волнового процесса.

**Френель** в первые обратил внимание на что согласно принципу Гюйгенса в какой либо точке среды есть результаты положения волн пришедших в данную точку от бесчисленного количество источников и по этой причине представляет собой интерференционный эффект. дифракционной решеткой подразумевается система параллельных щелей расположенных на одинаковым расстоянием друг от друга.



**Физический процесс зон Френеля**

Здесь поверхность волна разбиты на кольцевые зоны  $a_1, a_2 \dots a_5$  расстояние

до R – зоны Френеля  $\Delta E$  можно обозначить через  $R_k = \sqrt{R_0^2 - R \frac{\lambda}{2}}$

$R_k$  – размер R от зоны Френеля

Для плоской волны радиус соответствующей зоны Френеля определяется по формуле

$$r_k = \sqrt{R \cdot k \lambda}$$

Программа модель для зон Френеля данной формулы

Program Френель (input, output);

Var – k,  $r_k$ ,  $R_0$ ; Integer:

$\lambda := 5 * 10^{-8}$ ;

begin

read [R,]

write [ $r_k$ ]

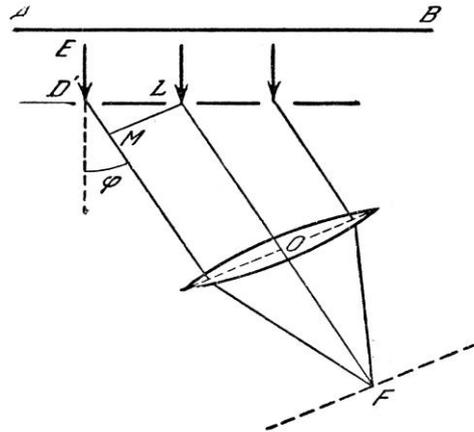
$r_k := \text{SQRT}(R_0 * k * \lambda)$ ;

Write LN ( $r_k$ )

End.

В науке и технике оптическом компьютере широко применяется дифракционная решетка.

Дифракционной решеткой подразумевается система параллельных щелей расположенных на одинаковом расстояниях друг от друга.

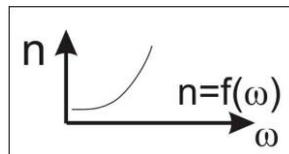


### Дифракционная решетка

Данная схема состоит из оптического элемента **A B**, от световых лучей, щелей **D L N**, собирающие линзы и оптический экран **F**. Дифракционная решетка с более трех щелями используется в оптическом компьютере. Дифракцией света называется обусловленные зависимостью показателя преломления вещество от частицы.

Дисперсия световых волн можно показать по следующим оптическом рисунке

$$n=f(\omega)$$



Эту зависимость можно охарактеризовать функцией с увеличением частоты показатель преломления возрастает  $dn/d\omega \geq 0$ . В этом случае дисперсия называется нормальном. Если вещество поглощает часть лучей  $dn/d\omega$ , то такой ход зависимости  $n$  от  $\omega$  называется аномальной дисперсией.

### 1.3. ФОТОННЫЕ, КОГЕРЕНТНЫЕ, БИСТАБИЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.

Фотонные как частицы оптического светового лучи световой волны с физической точки зрения, физического процесса не обладает массой, и электрическим зарядом но имеют очень высокую скорость  $v_{\phi} = 3 \cdot 10^8$  m/s. Благодаря такой физической скорости фотоны участвуют во всех физических процессах оптических элементов логики, «И», «ИЛИ», «НЕ» оптических RS триггеров транзисторов – трансфазаторов (оптических транзисторов), логических функции 2 ИЛИ – НЕ, 2И – НЕ, логической памяти – голограммы оптических процессов и являющейся основными носителями информации в оптическом компьютере.

Фотоны дают физическую возможность выполнения  $10^{16}$  элементарных физико-логических операций в одну секунду

Очень большое значение и возможностью обладает когерентный физический процесс.

Когерентностью называется одинаковость фазы двух световых волн лучей проходящего через определенного физического объекта среды элемента в частности оптического компьютера.

По этой связи принципиально новые возможности дает использование физических свойств пространственной когерентности светового излучения. По этому физическому процессу в когерентной оптике когерентных оптических процессоров легко реализуются математические операции над комплексными функциями, двух переменных: умножение, деление, сложение, вычитание, интегрирование, дифференцирование вычисление корреляции преобразование Фурье, Гильберта, Френеля.

Так в когерентном оптическом процессоре оптического компьютера когерентного излучения по команде оптического компьютера T1 и T2 – амплитудно-фазовые Транспаранты моделируют фазу и амплитуду проходящей световой волны через L1, L2 линзы когерентного оптического процессора. На основе когерентного физического процесса научно развивается современная оптика современных оптических компьютеров.

В оптических процессорах в их элементах и др. широко применяется бистабильный оптический физический процесс.

Оптикофизический Бистабильность это одно из проявлений взаимодействие светового оптического луча, волны с веществом в нелинейных средах системах с обратных связи при котором определенной интенсивности и поляризации подающего на вещество излучения соответствуют два – аналог ноль-«0», единица «1» обозначаемое «0» - , возможных стационарных состояния световых волн. За счет бистабильности имеется оптический сигнал единица «1» и оптический сигнал ноль «0» которое используется для управления элементами оптическими процессорами оптического компьютера

В оптических ячейках памяти оптических компьютеров используется интерферометры основанные физическому процессу интерференции.

Минимальная размер оптического элемента памяти определяется минимальным необходимым числом атомов для которого устойчиво наблюдается оптическая бистабильность. Это число составляет 1000 атомов, что соответствует  $1 \cdot 10$  нанометрам.

## ГЛАВА 2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ, ГИЛЬБЕРТА

### введение.

Часто в литературе по цифровой обработке сигналов выражение для дискретного преобразования Фурье (ДПФ) дается «как данность», и выводу выражения для прямого и обратного ДПФ не уделяется должного внимания. Однако понимание данного перехода позволит лучше понять свойства ДПФ и сущность цифрового спектрального анализа в целом. Для начала мы тоже запишем выражения для непрерывного и дискретного преобразования Фурье, а после осуществим переход к ДПФ от интеграла Фурье.

### 2.1. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ

Во все сферы науки техники а также оптических элементах процессорах широко используется прямое и обратное преобразование Фурье и Гильберта

#### Дискретизация сигнала по времени. Спектр дискретного сигнала

Итак пара непрерывного преобразования Фурье (интеграл Фурье) имеет вид:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot \exp(-j \cdot \omega \cdot t) dt;$$
$$s(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cdot \exp(j \cdot \omega \cdot t) d\omega,$$

Где  $S(\omega)$ - спектр сигнала  $s(t)$  (в общем случае и сигнал и спектр – комплексные).

Выражения для прямого ДПФ и обратного дискретного преобразования Фурье (ОДПФ) имеют вид:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} \cdot n \cdot k\right), \quad k=0..N-1$$

$$s(n) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} \cdot n \cdot k\right), \quad n=0..N-1.$$

Выражение для ДПФ ставит в соответствие  $N$  отсчетам сигнала  $s(n)$ ,  $n=0..N-1$ , в общем случае комплексного,  $N$  отсчетов спектра  $S(k)$ ,

$$k=0..N-1$$

Можно обратить внимание, что как и в непрерывном, так и в дискретном случае, в выражении для обратного преобразования имеется нормировочный коэффициент. В

случае интеграла Фурье это  $\frac{1}{2 \times \pi}$ , в случае ОДПФ  $\frac{1}{N}$ . Можно отметить, что в

случае непрерывного преобразования нормировочный коэффициент  $\frac{1}{2 \times \pi} = \frac{1}{dt \times d\omega}$  призван корректно отображать масштабирование сигнала во времени в частотную область и наоборот. Другими словами, если последовательно рассчитать спектр некоторого сигнала, а после взять обратное преобразование Фурье, то результат обратного преобразования должен полностью совпадать с исходным сигналом

Нормировочный коэффициент  $\frac{1}{2 \times \pi}$  уменьшает амплитуду сигнала на выходе обратного преобразования для того чтобы она совпадала с амплитудой исходного сигнала.

Рассмотрим теперь сигнал  $s_a(t)$  как результат умножения непрерывного сигнала на  $s(t)$  решетчатую функцию

$$s_d(t) = s(t) \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \delta(t - n \cdot \Delta t) = \sum_{n=0}^{N-1} s(t) \cdot \delta(t - n \cdot \Delta t) \quad (3)$$

где  $\delta(t)$  – дельта-функция,

$$\begin{aligned} \delta(t) &= \infty, \text{ если } t=0; \\ \delta(t) &= 0, \text{ если } t \neq 0, \end{aligned} \quad (4)$$

$\Delta t$  – интервал дискретизации. Графически процесс дискретизации можно представить как это показано на рисунке 1.

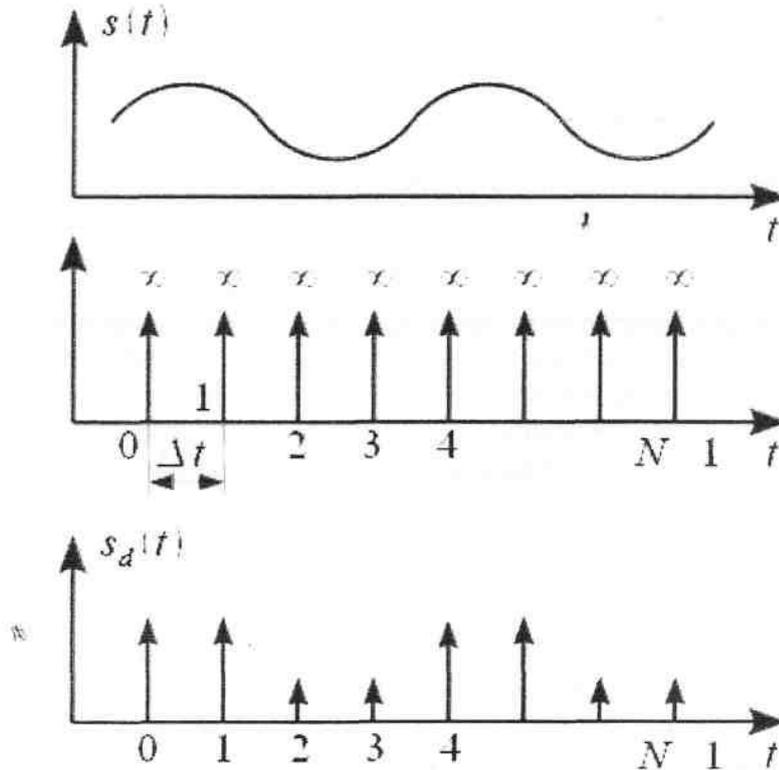


Рисунок 1: Процесс дискретизации сигнала

Вычислим спектр дискретного сигнала, для этого подставим выражения для дискретного сигнала (3) в выражения для преобразования Фурье (1), получим:

$$S(\omega) = \int s_a(t) \exp(j\omega t) dt = \dots$$

$$\dots = \int \sum_{n=0}^{N-1} s(t) \delta(t - n \cdot \Delta t) \exp(j\omega t) dt. \quad (5)$$

Поменяем местами операции суммирования и интегрирования и вспомним фильтрующее свойство дельта-функции:

$$\int x(t) \delta(t - \tau) dt = x(\tau) \quad (6)$$

Тогда выражение (5) с учетом (6):

$$S(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} \int s(t) \delta(t - n \cdot \Delta t) \exp(j\omega t) dt = \sum_{n=0}^{N-1} s(n \cdot \Delta t) \exp(j\omega n \Delta t) \quad (7)$$

Таким образом мы избавились от интегрирования в бесконечных пределах, заменив конечным суммированием комплексных экспонент. Но пока частота  $\omega$  меняется на всей числовой оси. Однако можно заметить что комплексные экспоненты под знаком суммы в выражении (7) являются периодическими функциями с периодом:

$$\Omega(n) = \frac{2 \cdot \pi}{n \cdot \Delta t}, \quad n = 1..N-1. \quad (8)$$

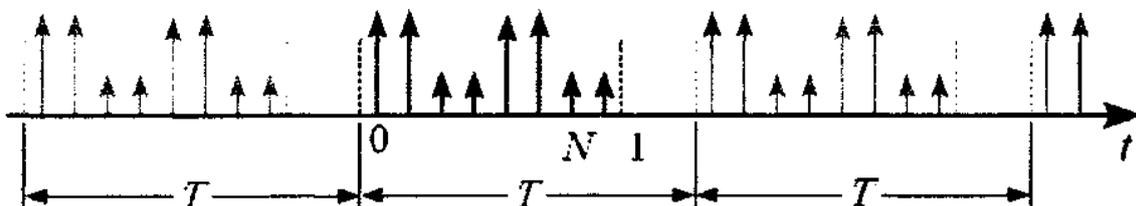
Необходимо отметить, что  $n=0$  исключено из выражения (8), так как при  $n=0$  комплексная экспонента равна единице для всех частот. Таким образом максимальный период повторения спектра  $S(\omega)$  будет при  $n=1$  и равен

$$\Omega_{max} = \Omega(1) = \frac{2 \cdot \pi}{\Delta t} \quad (9)$$

В результате можно рассматривать только один период повторения спектра  $S(\omega)$  при  $\omega = 0 \dots \Omega_{max}$ .

### Повторение сигнала во времени. Дискретное преобразование Фурье

Для цифровой обработки требуются как дискретные отсчеты сигнала, так и дискретные отсчеты спектра. Известно что дискретный (или как еще говорят линейчатый спектр) имеют периодические сигналы, а линейчатый спектр получается путем разложения в ряд Фурье периодического сигнала. Значит, чтобы получить дискретный спектр, надо сделать исходный дискретный сигнал периодическим, или другими словами необходимо повторить данный сигнал во времени бесконечное количество раз с некоторым периодом  $T$ , тогда его спектр будет содержать дискретные гармоники кратные  $\Delta\omega = 2 \cdot \pi / T$ . Графически процесс повторения сигнала во времени представлен на рисунке 2.



$$\begin{aligned}
S(k \cdot \Delta\omega) &= \sum_{n=0}^{N-1} s(n \cdot \Delta t) \cdot \exp(j \cdot n \cdot \Delta t \cdot k \cdot \Delta\omega) = \dots \\
&= \sum_{n=0}^{N-1} s(n \cdot \Delta t) \cdot \exp\left(j \cdot n \cdot \Delta t \cdot k \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N \cdot \Delta t}\right) = \dots \\
&= \sum_{n=0}^{N-1} s(n \cdot \Delta t) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} n \cdot k\right), \quad k=0..N-1.
\end{aligned} \tag{13}$$

Если опустить в выражении (13) шаг дискретизации по времени  $\Delta t$  и по частоте  $\Delta\omega$ , то получим окончательное выражение для ДПФ:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} n \cdot k\right), \quad k=0..N-1. \tag{14}$$

Можно сделать вывод, что ДПФ ставит в соответствие  $N$  отсчетам дискретного сигнала  $N$  отсчетов дискретного спектра, при этом предполагается, что и сигнал и спектр являются периодическими и анализируются на одном периоде. Детально свойства ДПФ будут анализироваться ниже. Мы же займемся выводом ОДПФ.

#### Обратное дискретное преобразование Фурье

Аналогично (3) можно записать выражение для дискретного спектра через решетчатую функцию:

$$S_d(\omega) = \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot \delta(\omega - k \cdot \Delta\omega) \tag{15}$$

где  $S_d(\omega)$  - дискретные отсчеты спектра на одном периоде повторения

$\omega = 0 \dots \Omega_{max}$ . Подставим в выражение для обратного преобразования Фурье (1):

$$\begin{aligned}
s(t) &= C \cdot \int S_d(\omega) \cdot \exp(j \cdot \omega \cdot t) d\omega = \dots \\
&= C \cdot \int \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot \delta(\omega - k \cdot \Delta\omega) \cdot \exp(j \cdot \omega \cdot t) d\omega,
\end{aligned} \tag{16}$$

где  $C$  - коэффициент пропорциональности, задача которого обеспечить равенство по амплитуде исходного дискретного сигнала и результата ОДПФ коэффициент

пропорциональности учитывает коэффициент  $\frac{1}{2 \cdot \pi}$ . Поменяем местами операции суммирования и интегрирования и учтем фильтрующее свойство дельта-функции получим:

$$s(t) = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \int S(k \cdot \Delta\omega) \delta(\omega - k \cdot \Delta\omega) \exp(j \cdot \omega \cdot t) d\omega = \dots$$

$$\dots = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} S(k \cdot \Delta\omega) \exp(j \cdot k \cdot \Delta\omega \cdot t). \quad (17)$$

Возьмем дискретные отсчеты  $s(n \cdot \Delta t)$  через интервал  $\Delta t$ , тогда (17) можно записать:

$$s(n \cdot \Delta t) = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} S(k \cdot \Delta\omega) \exp(j \cdot k \cdot \Delta\omega \cdot n \cdot \Delta t), \quad n=0..N-1. \quad (18)$$

Учтем (11) и получим:

$$s(n \cdot \Delta t) = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} S(k \cdot \Delta\omega) \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} n \cdot k\right), \quad n=0..N-1. \quad (19)$$

Опустив в выражении (19) интервалы дискретизации по частоте и по времени, оставив только индексы получим выражение для ОДПФ, в котором оказался неизвестным коэффициент пропорциональности:

$$s(n) = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} n \cdot k\right), \quad n=0..N-1. \quad (20)$$

Для того чтобы рассчитать коэффициент  $C$ , необходимо в выражение для ОДПФ (20) подставить выражение для расчета спектра при помощи ДПФ (14), получим:

$$s(n) = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} s(m) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} m \cdot k\right) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} n \cdot k\right), \quad n=0..N-1. \quad (21)$$

Поменяем местами в (21) порядок суммирования и объединим экспоненты:

$$s(n) = C \cdot \sum_{m=0}^{N-1} s(m) \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} k \cdot (n + m)\right), \quad n=0..N-1. \quad (22)$$

Рассмотрим подробнее сумму комплексных экспонент входящую в (22). При  $m=n$  получаем:

$$\sum_{k=0}^{N-1} \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} k \cdot (n + n)\right) = \sum_{k=0}^{N-1} 1 = N \quad (23)$$

Теперь рассмотрим эту же сумму при  $n \neq m$ . Пусть  $L = n - m$ , тогда получаем:

$$\sum_{k=0}^{N-1} \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} k \cdot (n + m)\right) = \sum_{k=0}^{N-1} \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} k \cdot L\right) \quad (24)$$

Тогда каждая комплексная экспонента входящая в сумму есть вектор на комплексной плоскости единичной длины, повернутый на угол:

$$\phi(k) = \Delta\phi \cdot k = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{N} \cdot k, \quad k=0..N-1 \quad (25)$$

таких векторов будет  $N$  и они повернуты относительно друг друга на одинаковые

## 2.2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ГИЛЬБЕРТА

**Преобразование Гильберта** для любого произвольного сигнала представляет собой идеальный широкополосный фазовращатель, который осуществляет поворот начальных фаз всех частотных составляющих сигнала на угол, равный  $90^\circ$  (сдвиг на  $\pi/2$ ). Применение преобразования Гильберта позволяет выполнять квадратурную модуляцию сигналов, в каждой текущей координате модулированных сигналов производить определение огибающей и мгновенной фазы (частоты) сигналов, выполнять анализ каузальных систем обработки сигналов.

### СУЩНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГИЛЬБЕРТА

**Определение преобразования.** Прямое преобразование Гильберта произвольной действительной функции  $x(t)$ ,  $-\infty < t < \infty$ , результат которого будем отображать знаком тильды над индексом исходной функции, задается сверткой  $x(t)$  с функцией  $hb(t) = 1/(\pi t)$ :

$$\tilde{x}(t) = \text{TH}[x(t)] = x(t) \times (1/\pi t), \quad (10.1.1)$$

Функция  $1/(1-t)$  называется ядром преобразования Гильберта.

Обратное преобразование Гильберта определяется выражением:

$$X(t) = -\tilde{x}(t). \quad (10.1.1)$$

Интегралы преобразования имеет особую точку при  $a = t-t \Rightarrow 0$  и при вычислении используется их главное значение по Коши:

$$[\dots + \dots]$$

Оператор Гильберта определен по аргументу от  $-\infty$  до  $+\infty$  и имеет полюс в точке  $t=0$

с разрывом значений от  $-\infty$  до  $\infty$ . Основным участком формы оператора Гильберта

и пример преобразования сигнала приведены на рис. 10.1.1.

**Спектральная характеристика преобразования.** Выполним преобразование Фурье

функции  $H_b(f)$  в общей форме:

$$H_b(f) = \text{TF}[h_b(t)] = X(f) \cdot H_b(f), \quad (10.1.2)$$

$$H_b(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h_b(t) \exp(-j2\pi ft) dt. \quad (10.1.2')$$

Заметим, что произведение  $X(f) \cdot H_b(f)$  не является преобразованием Гильберта спектральной функции  $X(f)$ . Это не более чем преобразование Фурье свертки

Функций:  $x(t) \times h_b(t) \Leftrightarrow X(f) \times H_b(f)$ , которое позволяет вычислить

$$h_b(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_b(f) \exp(j2\pi ft) df = X(f) \cdot H_b(f) \cdot \exp(j2\pi ft) df.$$

результат преобразования Гильберта во временной области через частотную область:

$$H_b(f) = \text{TF}[1/\pi t] = -j \cdot \text{sgn}(f) = (10.1.3)$$

Функция  $h_b(t) = 1/\pi t$  является нечетной, а спектр этой функции, представленный только мнимой частью, является обратной

Соответственно, формулы (10.1.1) задают преобразование сигнала  $x(t)$  системой, частотная передаточная характеристика которой отображается функцией  $-j \times \text{sgn}(f)$ .

Фурье-образ функции  $h_b(t)$ :

$$H_b(f) = -j \text{sgn}(f) \cdot X(f). \quad (10.1.2'')$$

## Изменение спектра сигналов при выполнении преобразования Гильберта. На

рис. 10.1.3 приведено преобразование радиоимпульсного сигнала

$$x(t) = a(t) \times \cos(\omega_0 t)$$

с несущей частотой  $\omega_0$  в сигнал  $(t)$  во временной области непосредственно через операцию свертки по (10.1.1). Сигнал  $x(t)$  является односторонним каузальным. Спектр сигнала содержит реальную и мнимую составляющие, т.е. может быть записан в виде  $X(\omega) = \text{Re}(X(\omega)) + j \times \text{Im}(X(\omega))$ . Эти составляющие для сигнала  $x(t)$  на рис. 10.1.3 показаны непрерывными кривыми на рис. 10.1.4 и 10.1.5.

При выполнении преобразования (10.1.2") реальная и мнимая части спектра  $X(\omega)$  умножаются на  $-j \times \text{sgn}(\omega)$ . Функция  $\text{Re}(X(\omega))$  (рис. 10.1.4) умножается на 1 при  $\omega < 0$ , на 0 при  $\omega = 0$  и на -1 при  $\omega > 0$ , и тем самым превращается в нечетную мнимую часть  $\text{Im}(\omega)$  спектра  $(\omega)$  функции  $(t)$ , показанную пунктиром. Это означает, что все косинусные гармоники сигнала, которым соответствует реальная часть спектра сигнала, превращаются в синусные гармоники.

Таким образом, реальная и мнимая части спектра физически осуществимых (односторонних) систем, а равно и произвольных каузальных сигналов, связаны парой преобразований Гильберта. Они позволяют производить определение любой, действительной или мнимой, части частотной характеристики каузальной функции путем свертки другой ее части с функцией  $1/\pi f$ .

### СВОЙСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГИЛЬБЕРТА

Для любых произвольных функций  $x(t)$  и  $y(t)$ , имеющих Фурье - образы  $X(\omega)$ ,  $Y(\omega)$  и преобразования Гильберта  $(t) = \text{TH}[x(t)]$  и  $(t) = \text{TH}[y(t)]$ , действительны следующие свойства:

**Линейность.**  $\text{TH}[a \times x(t) + b \times y(t)] = a \times (t) + b \times (t)$  при любых постоянных значениях коэффициентов **a** и **b** для любых произвольных функций  $x(t)$  и  $y(t)$ .

**Сдвиг.**  $\text{TH}[x(t-a)] = (t-a)$ .

**Преобразование константы**, а в силу линейности преобразования, и постоянной составляющей сигнала, равно нулю. Это прямо следует из нечетности ядра преобразования Гильберта. Отсюда следует, что при преобразовании Гильберта из квадратурной составляющей исключается постоянная составляющая.

**Свойство четности и нечетности** определяется сдвигом всех гармоник сигнала на  $\pi/2$ , при этом четные сигналы  $x(t)$  дают нечетные сигналы  $(t)$ , и наоборот. Это действительно и для произвольных сигналов относительно их четных и нечетных частей.

**Последовательное двойное преобразование** Гильберта возвращает исходную функцию с обратным знаком  $\text{TH}[\text{TH}[x(t)]] = \text{TH}[(t)] = -x(t)$ . Это определяется тем, что при двойном преобразовании фазы всех гармоники сигнала сдвигаются на  $\Pi$ , что изменяет их знак гармоник. Однако в силу исключения из сигнала при первом преобразовании постоянной составляющей, при двойном преобразовании сигнал  $x(t)$  восстанавливается с исключенным средним значением по интервалу задания.

**Обратное преобразование Гильберта**, по существу, это второе преобразование в последовательном двойном преобразовании Гильберта с изменением знака результата:

$$x(t) = \text{TH}^{-1}[(t)] = -(t) * (-1/\pi t). \quad (10.2.1)$$

Альтернативная форма вычисления  $x^*(\gamma)$  из (7):

$$x(t) = \text{TF}^{-1}[(j \operatorname{sgn}(f) \cdot \text{TF}[x(t)])]. \quad (10.2.1')$$

**Подобие** при изменении масштаба аргумента:  $\text{ТН}[x(at)] = (at)$ .

**Энергетическая эквивалентность:**

$$\int x^2(t) dt = \int x^2(t) dt. \quad (10.2.2)$$

$$\text{ТН}[u(t) \cdot \sin(\omega_0 t)] = -u(t) \cdot \cos(\omega_0 t). \quad (10.2.7)$$

### ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГИЛЬБЕРТА

Преобразование Гильберта аналоговых сигналов целесообразно выполнять не по формулам линейной свертки с оператором  $1/\pi t$ , который стремится к  $\infty$  при  $t \Rightarrow 0$ ,

а через спектр аналитической функции:

Заменяя в этом выражении функцию  $(f) = -j \operatorname{sgn}(f) \times X(f)$ , получаем:

$$Z(f) = [1 + \operatorname{sgn}(f)] \cdot X(f), \quad (10.3.2)$$

$$z(t) = x(t) + j \cdot (t) \Leftrightarrow X(f) + j \cdot (f) = Z(f). \quad (10.3.1)$$

Где функция  $1 + \operatorname{sgn}(f)$  равна 0 при  $f < 0$ , 1 при  $f = 0$  и 2 при  $f > 0$ , при этом:

$$Z(f) = , \quad (10.3.2')$$

т.е. спектр функции  $z(t)$  является односторонним и устанавливается непосредственно по спектру функции  $x(t)$  при  $f \geq 0$  (см. также (10.1.13)).

Обратное

преобразование Фурье функции  $Z(t)$  должно давать комплексную функцию

$$z(t),$$

при этом из (10.3.2') следует:

$$x(t) = \operatorname{Re} \left[ 2X(f) \exp(j2\pi ft) df \right], \quad (10.3.3)$$

$$x(t) = \operatorname{Im} \left[ 2X(f) \exp(j2\pi ft) df \right]. \quad (10.3.3')$$

В дискретной форме, при общем числе  $N$  отсчетов функции  $x(t)$  с шагом  $\Delta t$ , с шагом по частоте  $\Delta f = 1/(N\Delta t)$ :

$$X(n\Delta f) = \Delta t x(k\Delta t) \cdot \exp(-j2\pi kn/N), \quad n = 0, 1, \dots, N/2. \quad (10.3.4)$$

$$x(k\Delta t) = \Delta f \cdot \operatorname{Re} \left[ X_0 + 2X(n\Delta f) \cdot \exp(j2\pi kn/N) \right]. \quad (10.3.5')$$

$$x(k\Delta t) = 2\Delta f \cdot \operatorname{Im} \left[ X(n\Delta f) \cdot \exp(j2\pi kn/N) \right]. \quad (10.3.5)$$

### 2.3. ОПТИЧЕСКИЕ, ЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ.

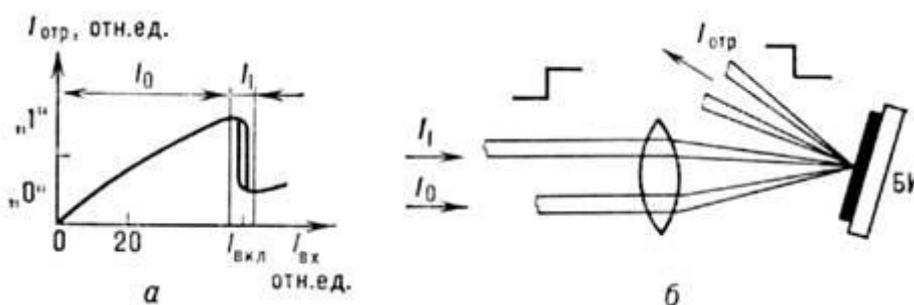
#### Оптические логические устройства на основе оптической

**бистабильности.** Полный набор полностью оптических логических устройств для синтеза более сложных блоков О. к. реализуется, например, на основе пассивных нелинейных резонаторов-интерферометров, в которых в результате светоиндуцированных изменения оптической длины происходит сдвиг пика пропускания (резонанса) относительно длины волны падающего излучения. В зависимости от нач. условий (нач. положения пика пропускания и нач. интенсивности) в пассивном нелинейном резонаторе нелинейный процесс завершается установлением одного из двух устойчивых состояний пропускания (отражения) падающего излучения.

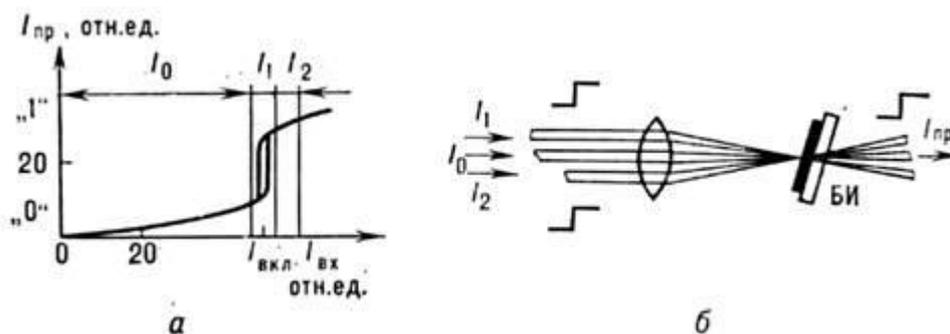
На рис. 1(a) и 2(a) приведены передаточные характеристики бистабильного интерферометра (БИ) – зависимости интенсивности выходного сигнала (отражённого  $I_{\text{отр}}$  и прошедшего  $I_{\text{пр}}$ ) от интенсивности сигнала на входе  $I_{\text{вх}}$ , складывающегося из сигнала подсветки  $I_0$  и информации сигнала  $I_1$  или  $I_1$  и  $I_2$ . Если  $I_0 + I_1 = I_{\text{вкл}}$  – порогу переключения – происходит переход системы из состояния с высокой интенсивностью на выходе ("1") в состояние с

низкой интенсивностью на выходе ("0", рис. 1, *a*) или на оборот (рис. 2, *a*).

Вообще говоря, гистерезис, характерный для оптической бистабильности, в данном случае не обязателен. Важно лишь обеспечить достаточно большой перепад между высокой и низкой выходными интенсивностями по отношению к изменению входной интенсивности, вызвавшей этот перепад.



**Передаточная характеристика БИ в отраженном пучке (*a*) и схема с логической функцией "НЕ" (*б*).**



**Передаточная характеристика БИ в проходящем пучке (*a*) и схема устройства с логическими функциями "И", "НЕТ", "ДА" (*б*).**

Элемент "НЕ" (см. Логические схемы) реализуется с использованием отражённого от БИ потока (рис. 1, *б*).

Интенсивность  $I_{\text{вх}}$  устанавливается несколько ниже порога переключения  $I_{\text{вкл}}$ , что соответствует высокой интенсивности отражённого сигнала.

Незначительная добавка  $I_1$  приводит к резкому уменьшению интенсивности  $I_{\text{отр}}$ , а снятие  $I_1$  - к восстановлению высокого уровня  $I_{\text{отр}}$ .

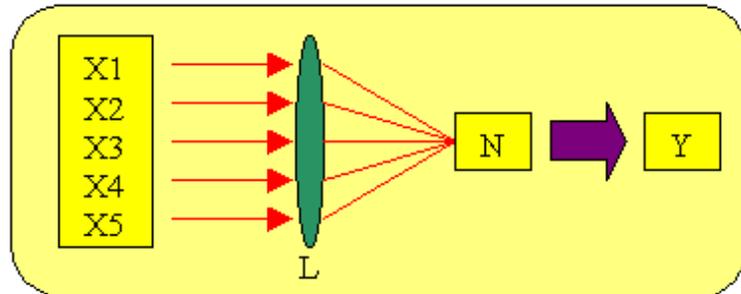
На рис. 2(б) дана схема устройства, представляющего собой по сути оптически программируемый элемент процессора, в котором тот или иной вид логических операции задаётся значением интенсивности подсветки  $I_0$ . На БИ кроме подсветки подаются ещё два информации пучка  $I_1$  и  $I_2$  и на выходе рассматривается интенсивность проходящего пучка. Если интенсивность подсветки выбрана такой, что  $I_0 = I_{\text{вкл}} - 0,5 I_1$  (рис. 2, а), то наличие сигнала хотя бы в одном из информации пучков переводит элемент в единичное состояние для проходящего луча (логический функция "ИЛИ"). При установке  $I_0 \approx I_{\text{вкл}} - 1 > 5 I_1$  элемент включается лишь при одновременной подаче сигнала ("1") в обоих информации каналах (функция "И"). Если выполняется условие  $I_0 < I_{\text{вкл}} - (I_1 + I_2)$ , то при любой комбинации состояний  $I_1, I_2$  на выходе имеет место низкий уровень интенсивности (функция "НЕТ"). Наконец, при  $I_0 > I_{\text{вкл}}$  БИ всегда остаётся при включённом состоянии (функция "ДА"). Для отражённого потока в этой же схеме обеспечиваются также функции "ИЛИ - НЕТ" и "И - НЕТ".

Такой набор элементов является достаточным для синтеза более сложных блоков. На рис. 3 даны некоторые примеры организации взаимодействия между отд. элементами. БИ с гистерезисной зависимостью (рис. 3, а) действует как оптический триггер с отдельными инверсными входами и выходами (рис. 3, б).

#### **2.4. БАЗОВАЯ ЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ИЛИ-НЕ/И-НЕ ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ.**

Базисная логическая функция, , с помощью которого можно построить любой, сколь угодно сложный цифровой процессор, компьютер базирующийся физическом процессе интерференции, когерентности, бистабильности и др.

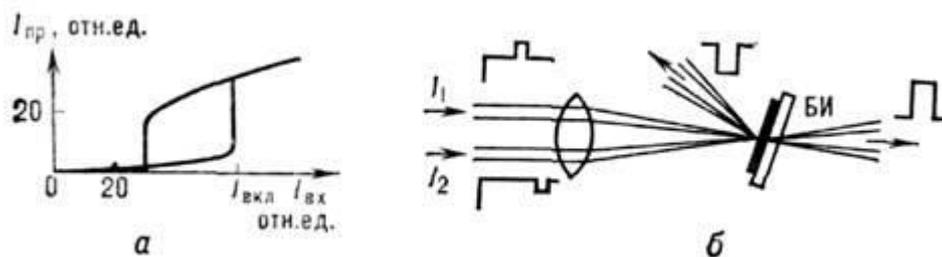
имеет множество оптических реализаций. На рисунке дано простой пример построения многовходовой функции ИЛИ-НЕ/И-НЕ с помощью линзы L и порогового устройства-инвертора N.



**Построение функции ИЛИ-НЕ/И-НЕ  
(АНИМАЦИЯ)**

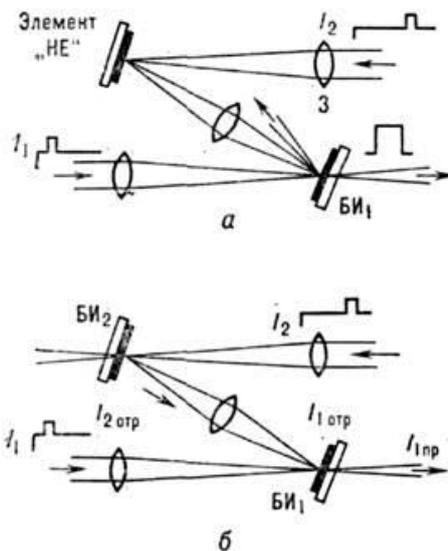
Здесь в качестве порогового элемента можно использовать как оптическое светоклапанное устройство (переключающаяся бистабильная среда), так и простой фотоэлектронный приемник с нелинейной передаточной характеристикой (то есть нелинейной зависимостью интенсивности выходного светового потока от входного).

### 2.5. ОПТИЧЕСКИЙ RS-ТРИГГЕР



**Передаточная характеристика (а) и схема триггера с отдельными инверсными входами и выходами (б).**

Чтобы получить *RS*-триггер, один из входных сигналов в схеме рис. 3(б) необходимо инвертировать. (*RS*-триггер имеет два входа и два устойчивых состояния, которые меняются под действием входных сигналов, при этом обязательно попеременно то с одного, то с другого входа.) Инвертирование можно сделать с помощью дополнит. элемента "НЕ" (рис. 4, а). В исходном состоянии интенсивность  $I_2$  выбрана чуть ниже порога переключения элемента "НЕ", и уровень сигнала, отражённого в направлении ТПИ<sub>1</sub>, высок. Его сумма с нач. интенсивностью  $I_1$  за счёт регулировки последней соответствует примерно центр. области гистерезисной петли. ТПИ<sub>1</sub> находится в состоянии с низким



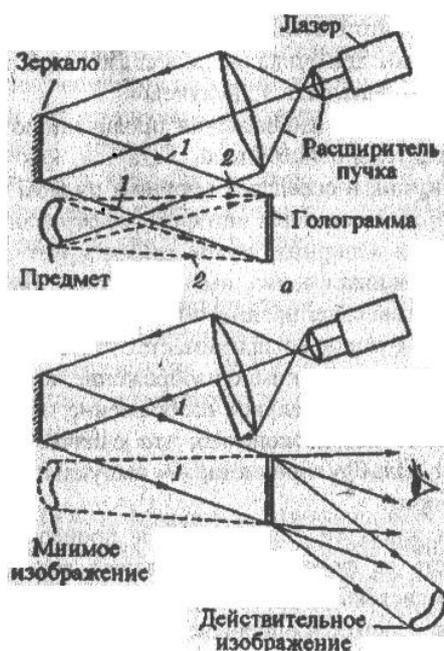
пропусканием (выключен). Манипуляции интенсивностью пучка  $I_2$  (*R*-вход) не могут изменить это состояние. Кратковременное же увеличение интенсивности  $I_1$  (*S*-вход) приводит к включению ТПИ<sub>1</sub>. После этого ближайшим по времени всплеском сигнала  $I_2$  триггер опрокидывается в исходное состояние.

### Схемы оптических *RS*-триггеров.

*RS*-триггер реализуется также и на основе двух "скрещенных" устройств с функциями "НЕ" (рис. 4, б). Введённая в систему жёсткая положит. обратная связь приводит к тому, что первый из элементов устойчиво находится во включённом состоянии, если второй в выключенном, и наоборот. По сравнению с предыдущей эта схема полностью симметрична, но требует более тщательной юстировки.

## 2.6. ГАЛОГРАФИЧЕСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Голографическом процессе на светочувствительном фотоплёнке зафиксирована структура световой волны отражённой предметом. При освещении этой светочувствительной пластинки (голограммы пучком света зафиксированная на ней волна восстанавливается в почти первоначальном виде.) **на рисунке** изображена голограммная установка физической установкой оснащённая лазером расширителем светового пучка зеркало предмета голограммой а также мнимого, действительного изображения.



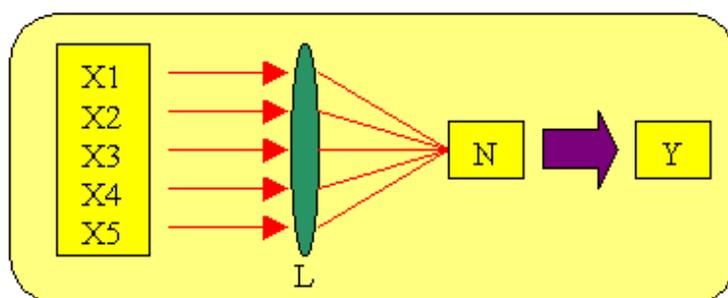
### ГЛАВА 3. ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССОРЫ

В современной науке техники производство медицины экономики образования и др. используется оптические электронные процессоры, микропроцессоры ЭВМ дискретного действия, нейропроцессоры квантовые процессоры а также оптические процессоры.

#### ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ

Основные элементы оптических процессоров с переносом изображения давно известны. Это – линза, зеркало, оптический транспарант (транспарант – прозрачная пластина, на которой каким-либо способом нанесено изображение, представляющее собой пространственное распределение коэффициента поглощения, коэффициента преломления (или толщины) или же того и другого одновременно) и слой пространства. В настоящее время к ним добавились волновые элементы, а также лазеры, полупроводниковые многоэлементные фотоприемники, нелинейные оптические среды, разного рода дефлекторы и светоклапанные устройства.

Базисная логическая функция, с помощью которой можно построить любой, сколь угодно сложный цифровой компьютер, имеет множество оптических реализаций. На рисунке 1 дан простой пример построения многовходовой функции ИЛИ-НЕ/И-НЕ с помощью линзы L и порогового устройства-инвертора N.

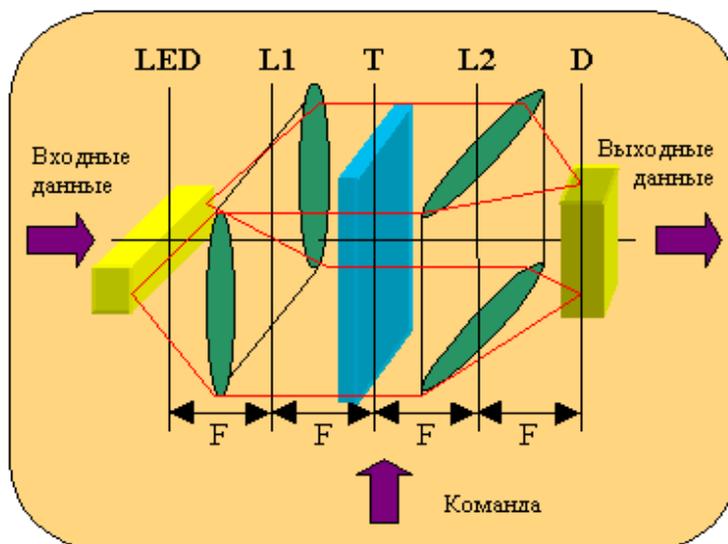


**Построение функции ИЛИ-НЕ/И-НЕ**

Здесь в качестве порогового элемента можно использовать как оптическое светоклапанное устройство (переключающаяся бистабильная

среда), так и простой фотоэлектронный приемник с нелинейной передаточной характеристикой (т.е. нелинейной зависимостью интенсивности выходного светового потока от входного).

На рисунке 2 показан оптический процессор, реализующий преобразование входного вектор-строки в выходной вектор-столбец.

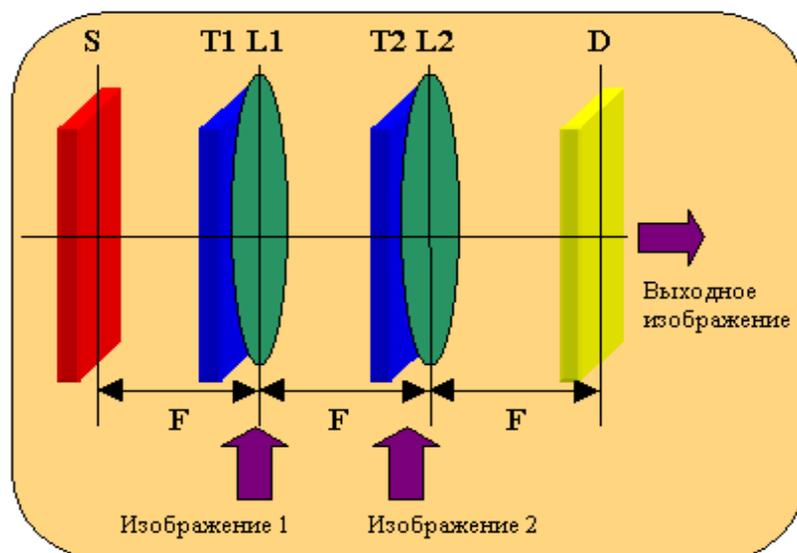


**Преобразование вектор-строки в вектор-столбец**

Здесь LED – линейка светоизлучающих диодов. Они расположены на фокальной линии цилиндрической линзы L1. T – оптический транспарант с записанной на нем матрицей пропускания  $T(i,j)$ . Строки матрицы параллельны образующей первой линзы. L2 – цилиндрическая линза, образующая которой параллельна столбцам матрицы транспаранта. Она собирает лучи, прошедшие через элементы одной строки, на одном пикселе многоэлементного фотоприемника D. Не трудно увидеть, что входной X и выходной Y вектора связаны линейным преобразованием

$$Y = TX.$$

В оптической системе возможна также обработка двумерных структур. На рисунке 3 представлена схема оптического процессора, реализующего операцию свертки двух изображений, которая лежит в основе работы многих устройств ассоциативной памяти и распознавания образов.



### Свертка изображений

Здесь  $S$  – плоский однородный источник света,  $L1$  и  $L2$  – сферические линзы,  $D$  – матричный фотоприемник,  $T1$  и  $T2$  – транспаранты, пропускание которых соответствует двум обрабатываемым изображениям.

Распределение интенсивности излучения на матричном фотоприемнике пропорционально интегралу:

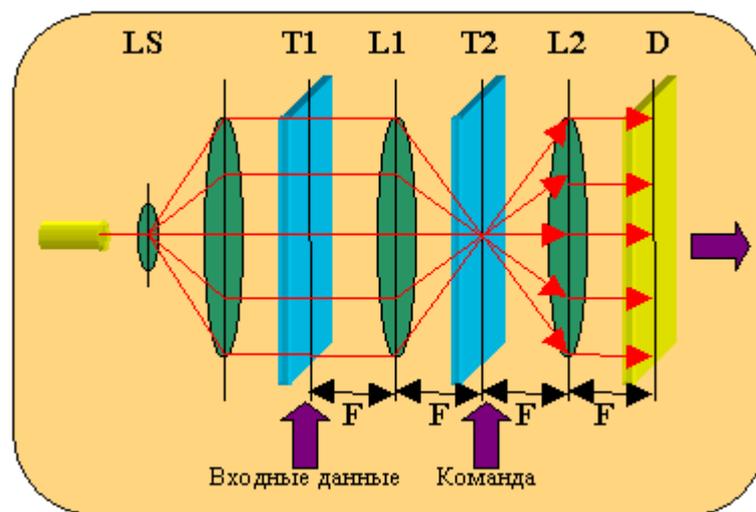
$$J(x,y)=\iint(T1(x-u, y-v) T2(u,v)) du dv.$$

В предыдущих примерах свет выполнял ту роль, что и электроны в проводниках обычных микросхем. При этом в качестве «проводов» выступали геометрические лучи. Понятно, что с таким же успехом свет можно загнать в волновод и организовать вычислительную среду по принципам, близким к идеологии электронной полупроводниковой микросхемотехники. Этим занимается интегральная и волновая оптика.

Принципиально новые возможности дает использование свойств пространственной когерентности излучения. Так, в когерентной оптике легко реализуются следующие математические операции над комплексными функциями двух переменных: умножение и деление, сложение и вычитание, интегрирование и дифференцирование, вычисление свертки и корреляции, преобразование Фурье, преобразование Гильберта, преобразование Френеля и ряд других, можно показать, что даже с помощью только двух базовых операций умножения и преобразования Фурье можно выполнить целую серию

других (сложение и вычитание, дифференцирование, интегрирование с весом, свертка, изменение масштаба аргумента функции, восстановление функции из ее спектральной плотности и др.).

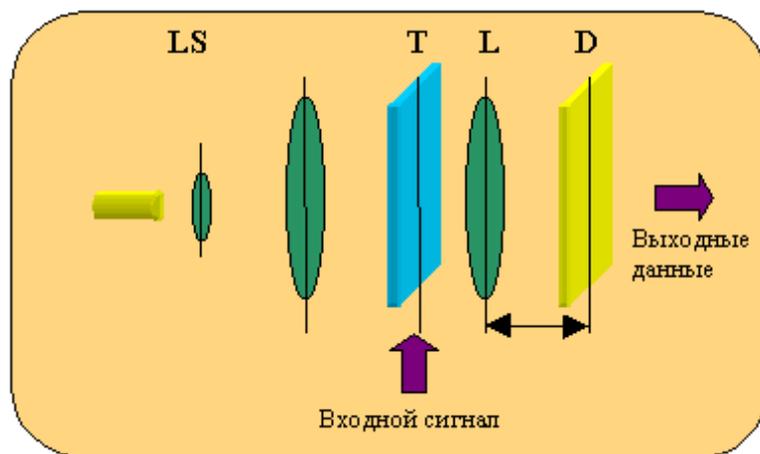
Структура когерентного оптического процессора, так называемая 4F-схема, приведена на рисунке 4. Здесь LS – лазерная осветительная система, формирующая широкий пучок когерентного излучения. T1 и T2 – амплитудно-фазовые транспаранты, модулирующие фазу и амплитуду проходящей световой волны. L1 и L2 – сферические линзы с фокусным расстоянием F. Результирующий сигнал считывается матричным фотоприемником D.



**Когерентный оптический процессор**

Распределение амплитуды светового поля в плоскости фотодетектора пропорционально свертке амплитудного пропускания первого транспаранта с Фурье-образом амплитудного пропускания второго транспаранта. Процессоры такого типа используются в качестве комплексных пространственных фильтров в системе улучшения качества изображения, а также в системах распознавания образов.

Фурье-спектр двумерного сигнала вычисляется с помощью линзы L и слоя пространства длиной F так, как показано на рисунке 5. Остальные элементы предназначены для ввода-вывода данных и освещения системы.

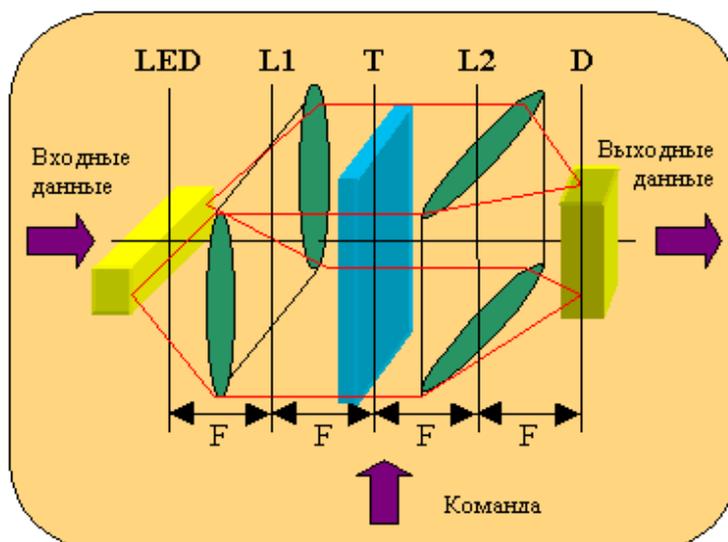


### Вычисление Фурье-спектра двумерного сигнала

Для обычного компьютера, использующего быстрый алгоритм Кули-Тьюки, длительность Фурье-преобразования растет с ростом точек дискретизации  $n$  пропорционально:  $n \log(n)$ . В оптическом компьютере эта процедура даже в двумерном случае выполняется всего за один машинный такт, что делает оптический компьютер незаменимым для решения задач, требующих быстрой оценки ситуации и управления в реальном времени.

### 3.1. ВЕКТОРНО СТРОЧНО СТОЛБИЧНО ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССОР.

На рисунке показан оптический процессор, реализующий преобразование входного вектор-строки в выходной вектор-столбец.



### Преобразование вектор-строки в вектор-столбец (АНИМАЦИЯ)

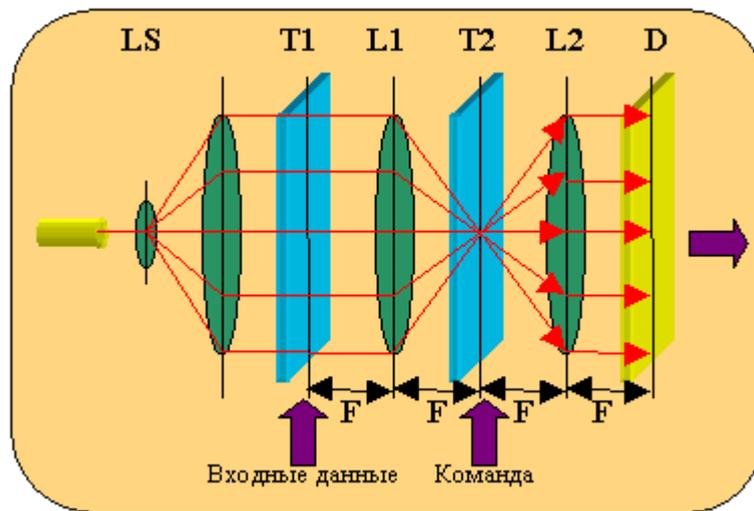
Здесь LED – линейка светоизлучающих диодов. Они расположены на фокальной линии цилиндрической линзы L1. T – оптический транспарант с записанной на нем матрицей пропускания  $T(i,j)$ . В прозрачной пластине транспаранте каким либо способом нанесено физическое изображения, представляющий собой физические процессы пространственного распределения коэффициента поглощения, коэффициента преломление. Строки матрицы параллельны образующей первой линзы. L2 – цилиндрическая линза, образующая которой параллельна столбцам матрицы транспаранта. Она физические световые лучи, прошедшие через элементы одной строки, на одном пикселе многоэлементного фотоприемника D. Не трудно увидеть, что входной X и выходной Y вектора связаны линейным преобразованием

$$Y = TX.$$

Здесь все оптические, логические процессы происходит согласно физическим законом процессом интерференции, дифракции, когерентности, бистабильности а также фотонности светового излучения.

### **3.2. КОГЕРЕНТНО ФИЗИЧЕСКИЙ ОПТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССОР**

Структура физического когерентного оптического процессора, приведена на рисунке. Здесь LS – лазерная осветительная система, формирующая широкий пучок когерентного излучения. В развитии физических основ когерентное оптики имеет использованием физических свойств когерентно пространственного светового излучения. T1 и T2 – амплитудно-фазовые транспаранты, модулирующие фазу и амплитуду проходящей световой волны. L1 и L2 – сферические линзы с фокусным расстоянием F. Результирующий сигнал считывается матричным фотоприемником D.



**Когерентный оптический процессор**

Распределение амплитуды светового поля в плоскости фотодетектора пропорционально свертке амплитудного пропускания первого транспаранта с Фурье-образом амплитудного пропускания второго транспаранта. Процессоры такого типа используются в качестве комплексных пространственных фильтров в системе улучшения качества изображения, а также в системах распознавания образов.

Фурье-спектр двумерного сигнала вычисляется с помощью линзы  $L$  и слоя пространства длиной  $F$  так, как показано на рисунке 5. Остальные элементы предназначены для ввода-вывода данных и освещения системы.

### **3.3. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССОРЫ**

В настоящее время развитие методов и средств оптической обработки информации идет по пути создания специализированных аналоговых оптических вычислительных устройств для решения достаточно широкого круга прикладных задач.

Можно выделить следующие 4 группы таких устройств в зависимости от выполняемых операций и их структуры.

1) Специализированные оптические процессоры, предназначенные для двумерного спектрального анализа изображений или многоканального

спектрального анализа электрических сигналов. В простейшем случае (при разложении по Фурье) оптический анализатор спектра содержит всего одну линзу, устройство ввода и устройство вывода в виде матрицы фотодетекторов.

2) Специализированные оптические процессоры, предназначенные для выполнения операций линейной пространственной фильтрации над изображениями или многоканальной фильтрации над электрическими сигналами. Эти процессоры содержат две линзы, осуществляющие два последовательных Фурье-преобразования, устройства ввода и вывода и амплитудный фильтр-маску в частотной плоскости для модуляции пространственно-частотного спектра входного изображения требуемым образом.

3) Специализированные оптические процессоры, предназначенные для выполнения операций двумерного корреляционного анализа изображений или для многоканального корреляционного анализа электрических сигналов. Данные корреляторы обычно синтезируют на основе оптических схем пространственной фильтрации, в которых в качестве фильтров-масок используют так называемые голографические согласованные фильтры, представляющие собой фурье-голограммы опорного изображения или электрического сигнала.

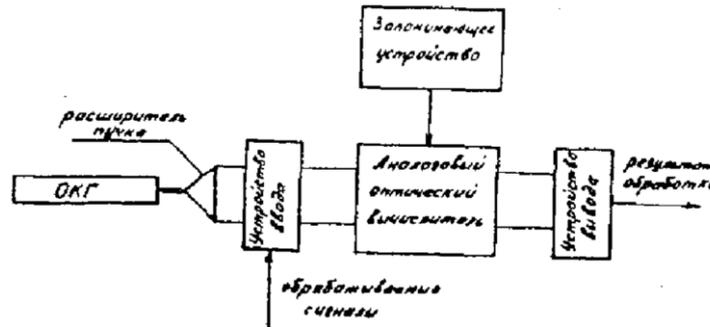
4) Специализированные оптические процессоры, предназначенные для выполнения одномерных и двумерных интегральных преобразований Гильберта, Френеля и др. над электрическими сигналами или изображениями. Преобразования Гильберта могут быть реализованы, например, в двух линзовой схеме пространственной фильтрации с помощью дифракционных решеток со сбоем.

В будущем просматривается создание универсальных оптических вычислительных устройств, как аналоговых, так и цифровых, пригодных для решения широкого класса задач.

## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОРА

Структурная схема специализированного оптического процессора

предс  
включ  
устрой  
вычис  
устрой



ский процессор  
иритель пучка,  
М оптический  
запоминающее

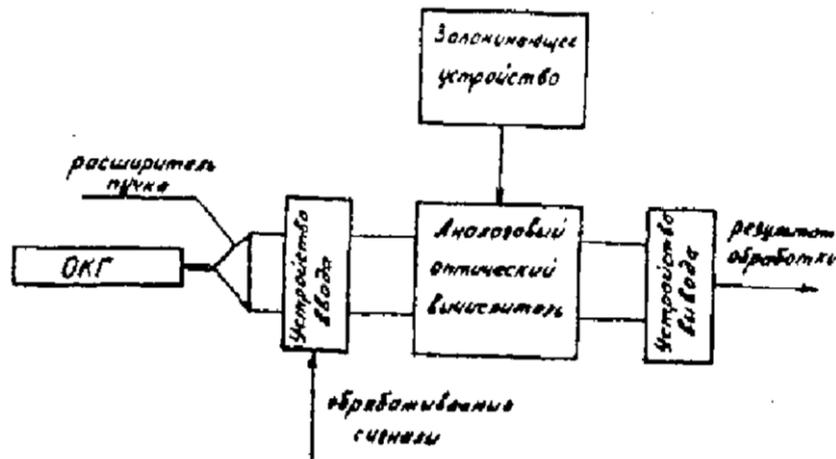


Схема специализированного оптического процессора

Устройство ввода служит для преобразования подлежащей обработке информации в форму, удобную для использования в оптическом вычислителе, и его задачей является осуществление пространственной модуляции, сформированной расширителем пучка плоской монохроматической волны по амплитуде, фазе или поляризации в соответствии с обрабатываемыми сигналами. Таким образом, устройство ввода преобразует обрабатываемые сигналы, имеющие различную физическую природу, в когерентные оптические

сигналы. Обычно обрабатываемые сигналы поступают в электрической или оптической форме. Для преобразования электрических сигналов в оптические используют ультра звуковые модуляторы света или электронно-лучевые трубки с экраном в виде термопластической мишени, электрооптического кристалла, катодохромного материала и др. При оптической обработке изображений устройство ввода должно преобразовывать изображение в некогерентном свете в изображение в когерентном свете. Такое преобразование можно осуществить, например, с помощью электрооптических или жидких кристаллов, которые в совокупности со слоем фотопроводника образуют сложную структуру типа: прозрачный металлический электрод - фотопроводник - кристалл - прозрачный металлический электрод.

Аналоговый оптический вычислитель осуществляет над сфокусированным в устройстве ввода когерентным оптическим сигналом требуемую математическую операцию и представляет результат вычислений в виде некоторой световой картины, распределение комплексных амплитуд поля в которой связано с распределением поля на входе требуемым математическим соотношением. Для выполнения математических операций обычно используют амплитудные маски или голограммы, устанавливаемые в определенных местах оптической схемы, и с их помощью осуществляют пространственную модуляцию поля по требуемому закону. Устройство вывода информации преобразует результат вычислений в электрический сигнал для последующей обработки в ЦЭВМ или ином электронном устройстве, либо регистрирует его на светочувствительный носитель (например, фотопленку). Для преобразования оптических сигналов в электрические обычно используют пространственно распределенные фотоприемники (например, передающие телевизионные трубки или матрицы фотодетекторов) либо одиночные дискретные фотоприемники в виде фотодиодов или фотоэлектронных умножителей.

### 3.4. ОПЕРАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ

#### Дискретизация сигнала по времени. Спектр дискретного сигнала

Итак пара непрерывного преобразования Фурье (интеграл Фурье) имеет вид:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot \exp(-j \cdot \omega \cdot t) dt;$$

$$s(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cdot \exp(j \cdot \omega \cdot t) d\omega,$$

Где  $S(\omega)$ - спектр сигнала  $s(t)$  (в общем случае и сигнал и спектр – комплексные).

Выражения для прямого ДПФ и обратного дискретного преобразования Фурье (ОДПФ) имеют вид:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot \exp\left(-j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} \cdot n \cdot k\right), \quad k=0..N-1;$$

$$s(n) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} \cdot n \cdot k\right), \quad n=0..N-1.$$

Выражение для ДПФ ставит в соответствие  $N$  отсчетам сигнала  $s(n)$ ,  $n=0..N-1$ , в общем случае комплексного,  $N$  отсчетов спектра  $S(k)$ ,

$k=0..N-1$

Можно обратить внимание, что как и в непрерывном, так и в дискретном случае, в выражении для обратного преобразования имеется нормировочный коэффициент. В

случае интеграла Фурье это  $\frac{1}{2 \times \pi}$ , в случае ОДПФ  $\frac{1}{N}$ . Можно отметить, что в

случае непрерывного преобразования нормировочный коэффициент  $\frac{1}{2 \times \pi} = \frac{1}{dt \times d\omega}$  призван корректно отображать масштабирование сигнала во времени в частотную область и наоборот. Другими словами, если последовательно рассчитать спектр некоторого сигнала, а после взять обратное преобразование Фурье, то результат обратного преобразования должен полностью совпадать с исходным сигналом

Нормировочный коэффициент  $\frac{1}{2 \times \pi}$  уменьшает амплитуду сигнала на выходе обратного преобразования для того чтобы она совпадала с амплитудой исходного сигнала.

Рассмотрим теперь сигнал  $s_a(t)$  как результат умножения непрерывного сигнала на  $s(t)$  решетчатую функцию

$$s_d(t) = s(t) \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \delta(t - n \cdot \Delta t) = \sum_{n=0}^{N-1} s(t) \cdot \delta(t - n \cdot \Delta t) \quad (3)$$

где  $\delta(t)$  – дельта-функция,

$$\begin{aligned} \delta(t) &= 1, \text{ если } t=0; \\ \delta(t) &= 0, \text{ если } t \neq 0, \end{aligned} \quad (4)$$

$\Delta t$  – интервал дискретизации. Графически процесс дискретизации можно представить как это показано на рисунке 1.

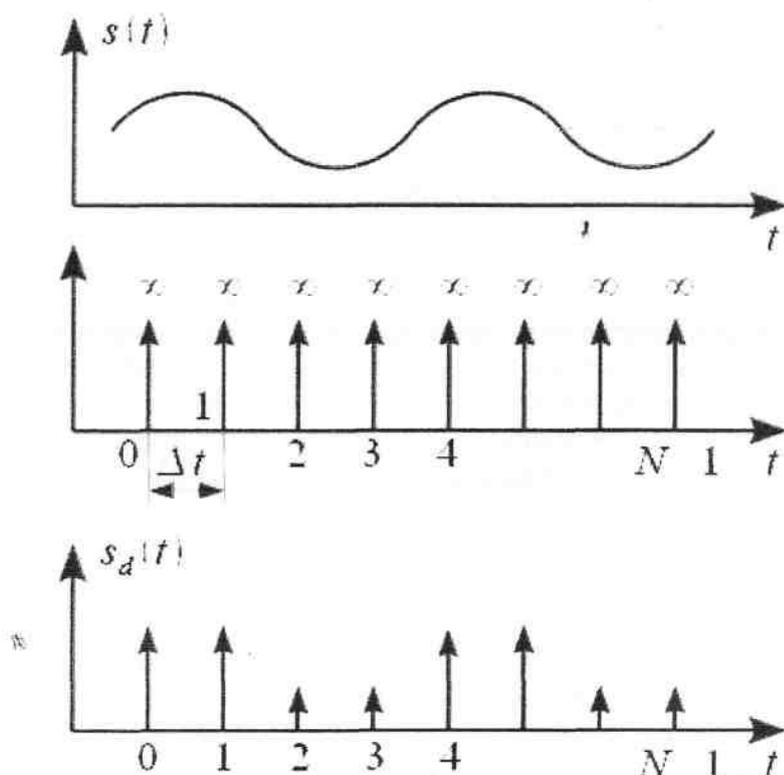


Рисунок 1: Процесс дискретизации сигнала

Вычислим спектр дискретного сигнала, для этого подставим выражения для дискретного сигнала (3) в выражения для преобразования Фурье (1), получим:

$$S(\omega) = \int s_a(t) \exp(j\omega t) dt = \dots$$

$$\dots = \int \sum_{n=0}^{N-1} s(t) \delta(t - n \cdot \Delta t) \exp(j\omega t) dt. \quad (5)$$

Поменяем местами операции суммирования и интегрирования и вспомним фильтрующее свойство дельта-функции:

$$\int x(t) \delta(t - \tau) dt = x(\tau) \quad (6)$$

Тогда выражение (5) с учетом (6):

$$S(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} \int s(t) \delta(t - n \cdot \Delta t) \exp(j\omega t) dt = \sum_{n=0}^{N-1} s(n \cdot \Delta t) \exp(j\omega n \Delta t) \quad (7)$$

Таким образом мы избавились от интегрирования в бесконечных пределах, заменив конечным суммированием комплексных экспонент. Но пока частота  $\omega$  меняется на всей числовой оси. Однако можно заметить что комплексные экспоненты под знаком суммы в выражении (7) являются периодическими функциями с периодом:

$$\Omega(n) = \frac{2 \cdot \pi}{n \cdot \Delta t}, \quad n = 1..N-1. \quad (8)$$

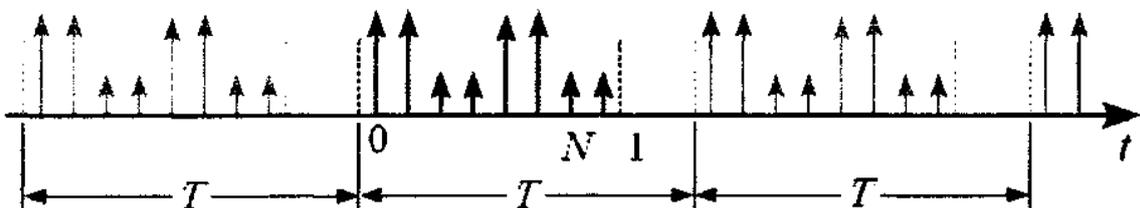
Необходимо отметить, что  $n=0$  исключено из выражения (8), так как при  $n=0$  комплексная экспонента равна единице для всех частот. Таким образом максимальный период повторения спектра  $S(\omega)$  будет при  $n=1$  и равен

$$\Omega_{max} = \Omega(1) = \frac{2 \cdot \pi}{\Delta t} \quad (9)$$

В результате можно рассматривать только один период повторения спектра  $S(\omega)$  при  $\omega = 0 \dots \Omega_{max}$ .

### Повторение сигнала во времени. Дискретное преобразование Фурье

Для цифровой обработки требуются как дискретные отсчеты сигнала, так и дискретные отсчеты спектра. Известно что дискретный (или как еще говорят линейчатый спектр) имеют периодические сигналы, а линейчатый спектр получается путем разложения в ряд Фурье периодического сигнала. Значит, чтобы получить дискретный спектр, надо сделать исходный дискретный сигнал периодическим, или другими словами необходимо повторить данный сигнал во времени бесконечное количество раз с некоторым периодом  $T$ , тогда его спектр будет содержать дискретные гармоники кратные  $\Delta\omega = 2 \cdot \pi / T$ . Графически процесс повторения сигнала во времени представлен на рисунке 2.



$$\begin{aligned}
S(k \cdot \Delta\omega) &= \sum_{n=0}^{N-1} s(n \cdot \Delta t) \cdot \exp(j \cdot n \cdot \Delta t \cdot k \cdot \Delta\omega) = \dots \\
&= \sum_{n=0}^{N-1} s(n \cdot \Delta t) \cdot \exp\left(j \cdot n \cdot \Delta t \cdot k \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N \cdot \Delta t}\right) = \dots \\
&= \sum_{n=0}^{N-1} s(n \cdot \Delta t) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} n \cdot k\right), \quad k=0..N-1.
\end{aligned} \tag{13}$$

Если опустить в выражении (13) шаг дискретизации по времени  $\Delta t$  и по частоте  $\Delta\omega$ , то получим окончательное выражение для ДПФ:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} n \cdot k\right), \quad k=0..N-1. \tag{14}$$

Можно сделать вывод, что ДПФ ставит в соответствие  $N$  отсчетам дискретного сигнала  $N$  отсчетов дискретного спектра, при этом предполагается, что и сигнал и спектр являются периодическими и анализируются на одном периоде. Детально свойства ДПФ будут анализироваться ниже. Мы же займемся выводом ОДПФ.

#### Обратное дискретное преобразование Фурье

Аналогично (3) можно записать выражение для дискретного спектра через решетчатую функцию:

$$S_d(\omega) = \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot \delta(\omega - k \cdot \Delta\omega) \tag{15}$$

где  $S_d(\omega)$  - дискретные отсчеты спектра на одном периоде повторения

$\omega = 0 \dots \Omega_{max}$ . Подставим в выражение для обратного преобразования Фурье (1):

$$\begin{aligned}
s(t) &= C \cdot \int S_d(\omega) \cdot \exp(j \cdot \omega \cdot t) d\omega = \dots \\
&= C \cdot \int \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot \delta(\omega - k \cdot \Delta\omega) \cdot \exp(j \cdot \omega \cdot t) d\omega,
\end{aligned} \tag{16}$$

где  $C$  - коэффициент пропорциональности, задача которого обеспечить равенство по амплитуде исходного дискретного сигнала и результата ОДПФ коэффициент

пропорциональности учитывает коэффициент  $\frac{1}{2 \cdot \pi}$ . Поменяем местами операции суммирования и интегрирования и учтем фильтрующее свойство дельта-функции получим:

$$s(t) = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \int S(\omega) \cdot \delta(\omega - k \cdot \Delta\omega) \cdot \exp(j \cdot \omega \cdot t) d\omega = \dots$$

$$\dots = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} S(k \cdot \Delta\omega) \cdot \exp(j \cdot k \cdot \Delta\omega \cdot t).$$
(17)

Возьмем дискретные отсчеты  $s(t)$  через интервал  $\Delta t$ , тогда (17) можно записать:

$$s(n \cdot \Delta t) = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} S(k \cdot \Delta\omega) \cdot \exp(j \cdot k \cdot \Delta\omega \cdot n \cdot \Delta t), \quad n=0..N-1, \quad (18)$$

Учтем (11) и получим:

$$s(n \cdot \Delta t) = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} S(k \cdot \Delta\omega) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} n \cdot k\right), \quad n=0..N-1. \quad (19)$$

Опустив в выражении (19) интервалы дискретизации по частоте и по времени, оставив только индексы получим выражение для ОДПФ, в котором оказался неизвестным коэффициент пропорциональности:

$$s(n) = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} n \cdot k\right), \quad n=0..N-1. \quad (20)$$

Для того чтобы рассчитать коэффициент  $C$ , необходимо в выражение для ОДПФ (20) подставить выражение для расчета спектра при помощи ДПФ (14), получим:

$$s(n) = C \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} s(m) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} m \cdot k\right) \cdot \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} n \cdot k\right), \quad n=0..N-1. \quad (21)$$

Поменяем местами в (21) порядок суммирования и объединим экспоненты:

$$s(n) = C \cdot \sum_{m=0}^{N-1} s(m) \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} k \cdot (n + m)\right), \quad n=0..N-1. \quad (22)$$

Рассмотрим подробнее сумму комплексных экспонент входящую в (22). При  $m=n$  получаем:

$$\sum_{k=0}^{N-1} \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} k \cdot (n + n)\right) = \sum_{k=0}^{N-1} 1 = N \quad (23)$$

Теперь рассмотрим эту же сумму при  $m \neq n$ . Пусть  $L = n - m$ , тогда получаем:

$$\sum_{k=0}^{N-1} \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} k \cdot (n + m)\right) = \sum_{k=0}^{N-1} \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} k \cdot L\right) \quad (24)$$

Тогда каждая комплексная экспонента входящая в сумму есть вектор на комплексной плоскости единичной длины, повернутый на угол:

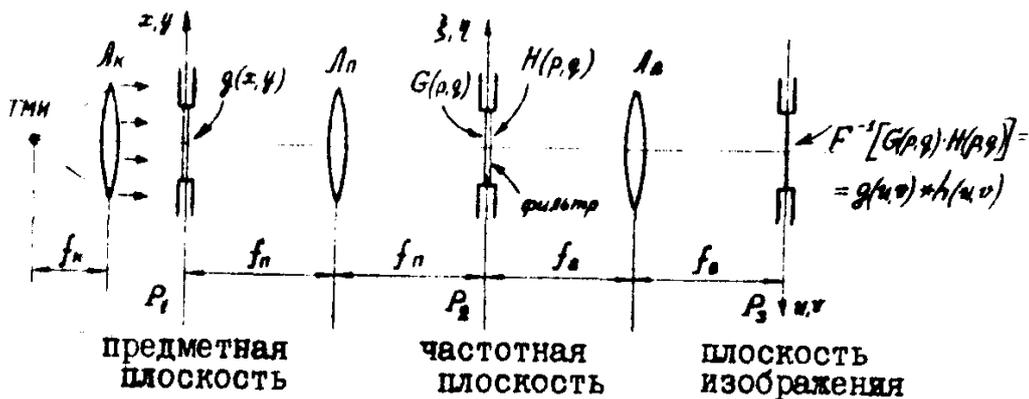
$$\phi(k) = \Delta\phi \cdot k = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{N} \cdot k, \quad k=0..N-1 \quad (25)$$

таких векторов будет  $N$  и они повернуты относительно друг друга на одинаковые

#### 4.4. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

Простота осуществления операций прямого и обратного Фурье-преобразования над двумерными функциями (в общем случае комплексными) в сочетании с голографическим способом регистрации световых полей открывает широкие возможности для синтеза схем пространственной фильтрации с произвольным видом передаточной функции.

На рисунке 8 приведена наиболее распространенная схема пространственной фильтрации, состоящая из точечного монохроматического источника света, устройства формирования плоской монохроматической волны и двух линз  $L_n$  и  $L_o$ , отстоящих друг от друга на расстоянии, равном сумме их фокусных расстояний.



#### Схема устройства пространственной фильтрации изображений

Преобразующая линза  $L_n$  осуществляет двумерное Фурье-преобразование над функцией  $g(x, y)$ , записанной в виде изменения амплитудного пропускания (или изменения рельефа или коэффициента преломления) транспаранта, помещаемого в передней фокальной плоскости, и отображает, таким образом, в своей задней фокальной плоскости пространственно-частотный спектр этой функции:

$$G(p, q) = \iint_{-\infty}^{\infty} g(x, y) e^{-i(px + qy)} dx dy.$$

В частотной плоскости помещается фильтр-маска с передаточной характеристикой (характеристикой амплитудного пропускания)  $H(p, q)$ .

Непосредственно за фильтром распределение комплексных амплитуд

будет равно произведению  $g(p,q) h(p,q)$ .

Восстанавливающая линза  $L_b$  осуществляет повторное Фурье-преобразование над видоизменённым пространственно-частотным спектром и формирует в выходной плоскости распределение амплитуд света, описываемое выражением:

$$r(u,v) = F|G(p,q)H(p,q)| = g(u,v) * h(u,v),$$

где  $h(u,v) = f^1 h(p,q)$  - импульсная реакция схемы пространственной фильтрации; символ \* означает операцию свертки.

Таким образом, распределение комплексных амплитуд в выходной плоскости представляет собой свертку входной функции с импульсной характеристикой схемы пространственной фильтрации  $h(u,v)$ . Следовательно, для вычисления свертки двух двумерных функций необходимо одну из свертываемых функций подать на вход схемы пространственной фильтрации, а в частотную плоскость поместить Фурье-образ второй функции.

Если  $H(p,q) = 1$ , то  $h(u,v) = \delta(u,v)$ , на выходе получается перевернутое изображение функции  $g(x,y)$ . В простейших случаях достаточно использовать амплитудные фильтры (бинарные в виде диафрагм, колец, целей и полутонные с произвольным законом изменения пропускания). Обычно такие фильтры изготавливают на фотоматериалах путем регистрации требуемого распределения света, формируемого в специальных оптических схемах, или синтезируют на ЦЭВМ. В общем случае для синтеза произвольной импульсной характеристики необходимо воздействовать и на амплитуду и на фазу гармоник пространственно-частотного спектра. Это осуществляется с помощью фильтров с комплексной функцией прозрачности или с помощью голограмм.

Пространственная фильтрация находит применение как для обработки изображения, так и для многоканальной обработки электрических сигналов.

Можно указать следующие задачи, которые могут эффективно решаться методом пространственной фильтрации:

- улучшение качества изображений путем их апостериорной обработки;
- повышение контраста, устранение дефокусировки и смаза, подавление аддитивных помех;

- осуществление над изображением операций типа дифференцирования, преобразования Гильберта и др;
- обработка сигналов фазированных антенных решеток;
- многоканальная фильтрация электрических сигналов;
- машинная обработка геофизических данных;
- обработка снимков треков пузырьковых камер и др.

**Пример.** Апостериорная обработка изображений: повышение контраста и устранение дефокусировки.

Для повышения контраста изображений необходимо ослабить нулевые пространственные частоты по отношению к спектру сигнала. Это достигается с помощью режекторного фильтра с передаточной характеристикой:

$$H(p, q) = \begin{cases} t & \text{для } |p| < \varepsilon \quad |q| < \varepsilon \\ 1 & \text{для } |p| > \varepsilon \quad |q| > \varepsilon \end{cases}$$

где  $\varepsilon$  - область локализации нулевых пространственных частот;  $0 \leq t \leq 1$  - минимальная прозрачность режекторного фильтра, величина которой зависит от контраста обрабатываемого изображения.

Дефокусировка изображения может быть устранена с помощью фильтра, передаточная характеристика которого обратна передаточной характеристике изображающей системы. Поскольку в общем случае требуемая характеристика обратного фильтра должна быть комплексной, возникли известные трудности при синтезе таких фильтров на фотоматериале. Дж.Строук предложил оригинальный способ синтеза требуемого фильтра путем наложения двух транспарантов, на одном из которых голографическим способом синтезирован фильтр с передаточной функцией, комплексно-сопряженной требуемой, т.е.  $H_1 = T^*$ , а на другом - фильтр с амплитудный коэффициентом пропускания  $H_2 = 1/|T|^2$ . Тогда результирующая передаточная характеристика будет

$$H = H_1 \cdot H_2 = T^* \frac{1}{|T|^2} = \frac{1}{T}. \quad (5)$$

С помощью такого фильтра Строуку удалось существенно повысить разрешение электронных микроскопов, что позволило получить изображение двойной спирали ДНК.

### 3.6. КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Когерентные оптические корреляторы можно синтезировать как в предметной, так и в частотной области. При обработке двумерных функций удобнее использовать корреляторы, синтезируемые в частотной области, поскольку они не требуют перемещений анализируемых функций относительно друг друга. Они реализуются на базе схемы пространственной фильтрации с помощью голографических согласованных фильтров ГСФ.

Схема согласованной пространственной фильтрации осуществляет параллельный корреляционный анализ входного изображения. Результат анализа отображается в выходной плоскости в виде некоторой световой картины тем пучком света, который дифрагирует на фильтре-голограмме в направлении распространения опорного пучка при записи фильтра и представляет собой поле функций взаимной корреляции входного изображения и эталонного изображения, записанного на фильтре-голограмме. Схема согласованной пространственной фильтрации слабо чувствительна положению опознаваемого объекта в пределах анализируемого изображения, однако допустимые изменения его масштаба и угловой ориентации не должны превышать, соответственно  $\pm (5\div 10)\%$  и  $2\div 5^\circ$  по отношению к эталону в зависимости от структурной сложности объекта. Отношение сигнал/шум на выходе схемы колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен в зависимости от структуры объекта и окружающего его фона. Не инвариантность схемы фильтрации к масштабу и ориентации объекта может быть устранена путем использования многоканального фильтра, либо путем осуществления поиска по масштабу и ориентации. В последнем случае увеличивается время анализа.

С помощью согласованной пространственной фильтрации могут быть решены следующие задачи:

- обнаружение объектов на некотором сложной фоне;
- навигационная привязка летательных аппаратов по наземным ориентирам;

- исследование скорости движения облаков по фотоснимкам, получаемых с метеорологических спутников;
- автоматический дактилоскопический поиск (опознавание полных отпечатков пальцев);
- автоматическая идентификация ИК спектров веществ;
- ввод буквенно-цифровой информации в ЦЭВМ;
- интегральный контроль качества печатных плат и интегральных схем;
- интегральный контроль предела усталости лопаток турбин;
- идентификация и распознавание электрических сигналов;
- оптимальная фильтрация электрических сигналов;
- многоканальный корреляционный анализ электрических сигналов и др.

**Пример.** Исследование скорости движения облаков и интегральный контроль качества печатных плат.

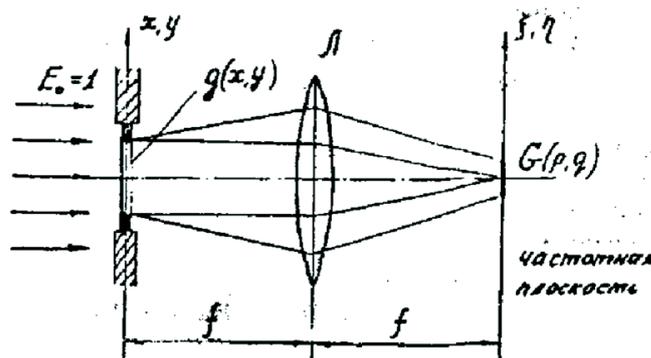
Сущность метода исследования скорости движения облаков состоит в анализе снимков облачности над одним и тем же участком земной поверхности, получаемых со стационарного метеоспутника с определенным интервалом (20-30 мин). По первому снимку делают ряд ГСФ на наиболее интересные для метеорологов фрагменты облачности и определяют их координаты путем обработки снимка на согласованном пространственном фильтре. Затем обрабатывают второй снимок. Поскольку за время между снимками облака не успевают существенно изменить свою структуру, то в результате корреляционного анализа второго снимка на выходе получают смещение корреляционных пиков. Определив их координаты и сравнив корреляционные поля второго и первого снимков, можно найти скорости и направления перемещения облаков, т.е. составить поле ветра.

Сущность метода контроля качества печатных плат состоит в сравнении рисунка печатного монтажа до и после температурных воздействий. С этой целью на рисунок печатного монтажа платы в нормальных условиях изготавливают ГСФ и измеряют интенсивность корреляционного пятна на выходе согласованного фильтра. Затем плату последовательно нагревают и охлаждают до температур, оговариваемых в технических условиях, и при

нормальной температуре опять устанавливают в схему согласованной фильтрации. Из-за неодинаковых температурных коэффициентов расширения печатных проводников и материала платы возникают остаточные деформации, которые изменяют положение печатных проводников на плате. В результате смещения проводников интенсивность корреляционного пятна будет изменяться в зависимости от величины смещения (деформации). Измеряя интенсивность корреляционного пятна до и после температурных воздействий можно оценить величину возникших при этом остаточных деформаций и осуществить технологический контроль качества печатных плат. На рисунке 9 представлена схема получения ГСФ непосредственно с поверхности платы, т.е. в отраженном свете, и схема обработки.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Операция преобразования Фурье над двумерными комплексными функциями является элементарной в когерентной оптике и осуществляется с помощью обычной сферической линзы



Если в передней фокальной плоскости линзы  $L$  поместить транспарант, на котором записана некоторая функция  $g(x, y)$  в виде изменения амплитудного пропускания транспаранта, и осветить его плоской монохроматической волной единичной амплитуды, то распределение комплексных амплитуд в задней фокальной плоскости будет представлять собой Фурье-образ этой функции с точностью до

некоторого фазового множителя

$$G(p, q) = \iint_{-\infty}^{\infty} g(x, y) e^{-i(px+qy)} dx dy \quad (1)$$

или в символической записи

$$G(p, q) = F[g(x, y)].$$

Здесь  $p = \frac{2\pi}{f} \xi$  и  $q = \frac{2\pi}{f} \eta$  - пространственные частоты;  $\xi, \eta$  - координаты в задней фокальной плоскости;  $f$  - фокусное расстояние линзы;  $\lambda$  - длина волны используемого света;  $F[ ]$  - оператор Фурье-преобразования.

Соотношение (1) получено в предположении, что оптическая система является линейной, пространственно-инвариантной и работает в параксиальной области. Из этого соотношения следует, что обычная линза является анализатором спектра пространственных частот. Точность выполнения операции спектрального анализа зависит от степени выполнимости принятых допущений, величины aberrаций линзы и составляет единицы процентов при использовании оптики, характеризующейся среднеквадратичным значением aberrаций  $\Delta \leq 0,02\lambda$ .

При необходимости обработки одномерных сигналов (например, электрических) вторую координату используют для реализации многоканальной обработки. В этом случае применяют цилиндрические линзы, осуществляющие Фурье-преобразование только вдоль одной оси. При использовании 35 мм фотопленки с разрешающей способностью  $100 \text{ мм}^{-1}$  нетрудно реализовать параллельный спектральный анализ одновременно в 1000 каналов. Для обработки электрических сигналов в реальном времени используют явление дифракции света на ультразвуковых волнах, возбуждаемых в акустооптических модуляторах света. Число каналов при этом ограничивается апертурой используемой оптики и технологическими возможностями изготовления многоканальных ультразвуковых модуляторов света (в настоящее время оно составляет несколько десятков).

Получение транспарантов с амплитудным пропусканием,

измеряющимся в линейном соответствии с обрабатываемым сигналом, встречает определенные трудности, вызванные нелинейностью характеристик фотопленки. Это обстоятельство существенно ограничивает динамический диапазон обрабатываемых сигналов и точность анализа. Поэтому при обработке одномерных сигналов целесообразно использовать "силуэтную" форму записи. При силуэтной форме записи анализируемая функция представляется в виде двух частей

$$g(x) = g^+(x) + g^-(x),$$

каждая из которых описывает, соответственно, положительную и отрицательную части. Тогда амплитудная прозрачность силуэтной маски будет иметь вид

$$T(x, y) = T^+(x, y) + T^-(x, y),$$

где

$$T^+(x, y) = \begin{cases} +1 \\ 0 \end{cases}$$

$$T^-(x, y) = \begin{cases} -1 \\ 0 \end{cases}$$

Отрицательная амплитудная прозрачность реализуется с помощью полуволновой фазосдвигающей пластинки, перекрывающей отрицательную часть анализируемой функции.

Нетрудно показать, что распределение комплексных амплитуд света в задней фокальной плоскости сферической линзы вдоль оси  $p$  при освещении силуэтной маски, помещенной в передней фокальной плоскости, плоской монохроматической волной будет иметь следующий вид:

$$G(p, 0) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-2\pi i p x} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} T(x, y) dy \right] dx = \int_{-\infty}^{\infty} [g^+(x) + g^-(x)] e^{-2\pi i p x} dx = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) e^{-2\pi i p x} dx, \quad (2)$$

т.е. представляет собой одномерное Фурье-преобразование анализируемой функции. При сканировании полученного светового распределения точечным фотоприемником получается спектр функции.

Спектральный анализ, осуществляемый с помощью когерентных оптических анализаторов, применяется для решения разнообразных задач: измерения и контроля диаметра сверхтонкой проволоки; анализа микроструктур в биологии; количественной обработки интерферограмм в Фурье-спектроскопии; формирования признаков в устройствах распознавания образов; интерпретации геологического материала; многоканального спектрального анализа сигналов электрической и иной природы и др.

**Пример.** Контроль диаметра сверхтонкой проволоки удобно производить путем анализа пространственного спектра, получаемого с помощью линзы при просвечивании проволоки коллимированным светом лазера. Нетрудно получить спектр крупного масштаба, что существенно облегчает измерения. Расстояние между двумя соседними нулями в спектре однозначно связано с диаметром проволоки. Измеряя это расстояние с помощью электронных приборов, можно осуществить бесконтактный автоматический контроль проволоки непосредственно в процессе ее изготовления.

### 3.7. ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЬЮТЕР «ДОС-II»

**ОПТИЧЕСКИЕ КОМПЬЮТЕРЫ** - интенсивно разрабатываемое в 1980 - 90-е гг. новое поколение вычислительных техники (компьютеров) на основе использования оптического излучения в качестве носителя информации. Составными частями О. к. служат устройства, которые формируют, передают, преобразуют и осуществляют др. операции над информационными и управляющими световыми потоками. Применение оптического излучения в качестве носителя информации имеет ряд потенциальных преимуществ (по сравнению с электрическими сигналами) благодаря след. свойствам световых потоков: 1) в линейной среде световые потоки не взаимодействуют между собой, проходя в непосредственно

близости или даже пересекаясь друг с другом; 2) световые потоки могут быть локализованы в поперечном направлении до субмикронных размеров и передаваться как по цветоводам, так и по свободному пространству; 3) скорость распространения светового сигнала выше скорости электрического, зависящего от соотношения активных и реактивных компонент проводимости тракта передачи; 4) взаимодействие световых потоков с нелинейными средами не локализовано, а распределено во всей среде, что даёт новые степени свободы (по сравнению с электронными системами) в организации связей и создании параллельных архитектур.

Эти свойства делают О. к. способными преодолеть ограничения по быстродействию и параллельной обработке информации, свойственные современным ЭВМ. Например, цифровой оптический процессор с числом параллельных каналов  $\sim 10^5 - 10^6$  может совершать до  $10^{13} - 10^{15}$  операций в секунду (при времени переключения в одном канале  $\sim 10^{-8} - 10^{-9}$  с), что значительно превосходит число операций в секунду в электронных системах.

Представьте, что нам нужно найти какое-то слово в тексте. Я провел небольшой эксперимент. Тестовая система Duron 1,6/256 MB/Win XP SP1, запущено более 50 процессов. Взял документ MS Word на 954 страницах, написал заветное слово на 953-й странице (такое слово было только одно в документе). Запустил поиск этого слова и одновременно нажал кнопку «Старт» на своем секундомере. Поиск занял чуть больше 3 секунд (а именно 3,175), будем считать, что 3 секунды - ведь мне еще нужно было нажать «Стоп». Тут даже не принципиально, 2 или 3 секунды. Потому что оптический компьютер просматривает за ОДНУ секунду 80 000 страниц обычного ASCII-текста. Думаю, комментировать дальше просто нет смысла. Основной недостаток оптического компьютера - не интегрируемость его компонентов. В настоящее время ведутся работы по созданию интегрального модуля оптического компьютера. Компьютер будет называться High Performance optoelectronic communication - НРОС. Опытная его модель уже создана.

В новом компьютере планируется использовать входную матрицу с

вертикально расположенными лазерными диодами. Диоды будут соединяться волноводами и обычной оптикой, оснащенной матрицами переключения, на основе дифракционных оптических элементов. Выходная система будет состоять из матрицы фотодиодов, которая будет совмещена с входной матрицей. В модуле используются технологии CMOS, Bi-CMOS, GaAs, оптические меж соединения организованы с использованием свободного распространения световых пучков. В итоге получается квазичетырехмерная структура. Уже создана опытная система. Она показывает скорость 1015 операций в секунду, причем «кушает» энергии всего 1 фДж на переключение (сравните с DOC-II – там 7 фДж). Что же касается веса, то пока нынешние оптические системы в этом проигрывают - их вес превышает используемые сейчас чипы. Конечно, до размеров и веса суперкомпьютеров пятидесятых не дойдет, но оптический ноутбук будет больших размеров (если он вообще будет в ближайшее время).

(Место для фото... оптического компьютера DOC-II)

## **ГЛАВА 4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

### **Требования к помещениям при работе за компьютером**

Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Расположение рабочих мест за мониторами для взрослых пользователей в подвальных помещениях не допускается.

Площадь на одно рабочее место с компьютером для взрослых пользователей должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>, а объем не менее -20 м<sup>3</sup>.

Помещения с компьютерами должны оборудоваться системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией.

Для внутренней отделки интерьера помещений с компьютерами должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка — 0,7-0,8; для стен — 0,5-0,6; для пола — 0,3-0,5.

Поверхность пола в помещениях эксплуатации компьютеров должна быть ровной, без выбоин, нескользкой, удобной для очистки и влажной уборки, обладать антистатическими свойствами.

В помещении должны находиться аптечка первой медицинской помощи, углекислотный огнетушитель для тушения пожара.

Требования к микроклимату, ионному составу и концентрации вредных химических веществ в воздухе помещений

На рабочих местах пользователей персональных компьютеров должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в соответствии с СанПин 2.2.4.548-96. Согласно этому документу для категории тяжести работ 1а температура воздуха должна быть в холодный период года не более 22-24оС, в теплый период года 20-25оС. Относительная влажность должна составлять 40-60%, скорость движения воздуха — 0,1 м/с. Для поддержания оптимальных значений микроклимата используется система отопления и кондиционирования воздуха. Для повышения влажности воздуха в помещении следует применять увлажнители воздуха с дистиллированной или кипяченой

питьевой водой.

Ионный состав воздуха должен содержать следующее количество отрицательных и положительных аэроионов; минимально необходимый уровень 600 и 400 ионов в 1 см<sup>3</sup> воздуха; оптимальный уровень 3 000-5 000 и 1 500-3 000 ионов в 1 см<sup>3</sup> воздуха; максимально допустимый — 50 000 ионов в 1 см<sup>3</sup> воздуха. Для поддержания оптимального ионного состава воздуха, обеспыливания и обеззараживания воздуха в помещении рекомендуется применять аппараты завода «Диод» серии «Эллион».

Требования к освещению помещений и рабочих мест

В компьютерных залах должно быть естественное и искусственное освещение. Естественное освещение обеспечивается через оконные проемы с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 1,2% в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5% на остальной территории. Световой поток из оконного проема должен падать на рабочее место оператора с левой стороны.

Искусственное освещение в помещениях эксплуатации компьютеров должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения документа должна быть 300-500 лк. Допускается установка светильников местного освещения для подсветки документов. Местное освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более 300 лк. Прямую блескость от источников освещения следует ограничить. Яркость светящихся поверхностей (окна, светильники), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м<sup>2</sup>.

Отраженная блескость на рабочих поверхностях ограничивается за счет правильного выбора светильника и расположения рабочих мест по отношению к естественному источнику света. Яркость бликов на экране монитора не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup>. Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в помещениях должен быть не более 20, показатель дискомфорта в административно-общественных помещениях не более 40. Соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 — 5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен

и оборудования 10:1.

Для искусственного освещения помещений с персональными компьютерами следует применять светильники типа ЛПО36 с зеркализированными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами. Допускается применять светильники прямого света, преимущественно отраженного света типа ЛПО13, ЛПО5, ЛСО4, ЛПО34, ЛПО31 с люминесцентными лампами типа ЛБ. Допускается применение светильников местного освещения с лампами накаливания. Светильники должны располагаться в виде сплошных или прерывистых линий сбоку от рабочих мест параллельно линии зрения пользователя при разном расположении компьютеров. При периметральном расположении — линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору. Защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов. Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающийся отражатель с защитным углом не менее 40 градусов.

Для обеспечения нормативных значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол оконных проемов и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

#### Требования к шуму и вибрации в помещениях

Уровни шума на рабочих местах пользователей персональных компьютеров не должны превышать значений, установленных СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 и составляют не более 50 дБА. На рабочих местах в помещениях для размещения шумных агрегатов уровень шума не должен превышать 75 дБА, а уровень вибрации в помещениях допустимых значений по СН 2.2.4/2.1.8.566-96 категория 3, тип «в».

Снизить уровень шума в помещениях можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63-8000 Гц для отделки стен и потолка помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создают однотонные занавески из плотной ткани, повешенные в складку на расстоянии 15-20 см от ограждения. Ширина занавески должна быть в 2 раза больше

ширины окна.

Требования к организации и оборудованию рабочих мест

Рабочие места с персональными компьютерами по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, желательно слева.

Схемы размещения рабочих мест с персональными компьютерами должны учитывать расстояния между рабочими столами с мониторами: расстояние между боковыми поверхностями мониторов не менее 1,2 м, а расстояние между экраном монитора и тыльной частью другого монитора не менее 2,0 м.

Рабочий стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики и позволяющей удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы. Целесообразно применение столов, имеющих отдельную от основной столешницы специальную рабочую поверхность для размещения клавиатуры. Используются рабочие столы с регулируемой и нерегулируемой высотой рабочей поверхности. При отсутствии регулировки высота стола должна быть в пределах от 680 до 800 мм.

Глубина рабочей поверхности стола должна составлять 800 мм (допускаемая не менее 600 мм), ширина — соответственно 1 600 мм и 1 200 мм. Рабочая поверхность стола не должна иметь острых углов и краев, иметь матовую или полуматовую фактуру.

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной — не менее 500 мм, глубиной на уровне колен — не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног — не менее 650 мм.

Быстрое и точное считывание информации обеспечивается при расположении плоскости экрана ниже уровня глаз пользователя, предпочтительно перпендикулярно к нормальной линии взгляда (нормальная линия взгляда 15 градусов вниз от горизонтали).

Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю.

Для удобства считывания информации с документов применяются

подвижные подставки (пюпитры), размеры которых по длине и ширине соответствуют размерам устанавливаемых на них документов. Пюпитр размещается в одной плоскости и на одной высоте с экраном.

Для обеспечения физиологически рациональной рабочей позы, создания условий для ее изменения в течение рабочего дня применяются подъемно-поворотные рабочие стулья с сиденьем и спинкой, регулируемые по высоте и углам наклона, а также расстоянию спинки от переднего края сидения.

Конструкция стула должна обеспечивать:

ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;  
поверхность сиденья с закругленным передним краем;  
регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углом наклона вперед до 15 градусов и назад до 5 градусов.;

высоту опорной поверхности спинки  $300\pm 20$  мм, ширину — не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости 400 мм;

угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах  $0\pm 30$  градусов;

регулировку расстояния спинки от переднего края сидения в пределах 260-400 мм;

стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной 50-70 мм;

регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах  $230\pm 30$  мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм.;

поверхность сиденья, спинки и подлокотников должна быть полумягкой, с нескользящим не электризующимся, воздухопроницаемым покрытием, легко очищаемым от загрязнения.

Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 град. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Режим труда и отдыха при работе с компьютером

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной

длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности.

Виды трудовой деятельности на ПК разделяются на 3 группы: группа А — работа по считыванию информации с экрана с предварительным запросом; группа Б — работа по вводу информации; группа В — творческая работа в режиме диалога с ПК .

Если в течение рабочей смены пользователь выполняет разные виды работ, то его деятельность относят к той группе работ, на выполнение которой тратится не менее 50% времени рабочей смены.

Категории тяжести и напряженности работы на ПК определяются уровнем нагрузки за рабочую смену: для группы А — по суммарному числу считываемых знаков; для группы Б — по суммарному числу считываемых или вводимых знаков; для группы В — по суммарному времени непосредственной работы на ПК. В таблице приведены категории тяжести и напряженности работ в зависимости от уровня нагрузки за рабочую смену.

#### Виды категорий трудовой деятельности с ПК

Категория работы по тяжести и напряженности	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работы на ПК		
	Группа А Количество знаков	Группа Б Количество знаков	Группа В Время работы, ч
I	До	До	До
II	20000	15000	2,0
III	До	До	До
	40000	30000	4,0
	До	До	До
	60000	40000	6,0

Количество и длительность регламентированных перерывов, их распределение в течение рабочей смены устанавливается в зависимости от

категории работ на ПК и продолжительности рабочей смены.

При 8-часовой рабочей смене и работе на ПК регламентированные перерывы следует устанавливать:

для первой категории работ через 2 часа от начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый;

для второй категории работ — через 2 часа от начала рабочей смены и через 1,5-2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый или продолжительностью 10 минут через каждый час работы;

для третьей категории работ — через 1,5- 2,0 часа от начала рабочей смены и через 1,5-2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы.

При 12-часовой рабочей смене регламентированные перерывы должны устанавливаться в первые 8 часов работы аналогично перерывам при 8-часовой рабочей смене, а в течение последних 4 часов работы, независимо от категории и вида работ, каждый час продолжительностью 15 минут.

Продолжительность непрерывной работы на ПК без регламентированного перерыва не должна превышать 2 часа.

При работе на ПК в ночную смену продолжительность регламентированных перерывов увеличивается на 60 минут независимо от категории и вида трудовой деятельности.

Эффективными являются нерегламентированные перерывы (микропаузы) длительностью 1-3 минуты.

Регламентированные перерывы и микропаузы целесообразно использовать для выполнения комплекса упражнений и гимнастики для глаз, пальцев рук, а также массажа. Комплексы упражнений целесообразно менять через 2-3 недели.

Пользователям ПК, выполняющим работу с высоким уровнем напряженности, показана психологическая разгрузка во время регламентированных перерывов и в конце рабочего дня в специально оборудованных помещениях (комнатах психологической разгрузки).

Медико-профилактические и оздоровительные мероприятия. Все

профессиональные пользователи ПК должны проходить обязательные предварительные медицинские осмотры при поступлении на работу, периодические медицинские осмотры с обязательным участием терапевта, невропатолога и окулиста, а также проведением общего анализа крови и ЭКГ.

Не допускаются к работе на ПК женщины со времени установления беременности и в период кормления грудью.

Близорукость, дальнозоркость и другие нарушения рефракции должны быть полностью скорректированы очками. Для работы должны использоваться очки, подобранные с учетом рабочего расстояния от глаз до экрана дисплея. При более серьезных нарушениях состояния зрения вопрос о возможности работы на ПК решается врачом-офтальмологом.

Для снятия усталости аккомодационных мышц и их тренировки используются компьютерные программы типа Relax.

Интенсивно работающим целесообразно использовать такие новейшие средства профилактики зрения, как очки ЛПО-тренажер и офтальмологические тренажеры ДАК и «Снайпер-ультра».

Досуг рекомендуется использовать для пассивного и активного отдыха (занятия на тренажерах, плавание, езда на велосипеде, бег, игра в теннис, футбол, лыжи, аэробика, прогулки по парку, лесу, экскурсии, прослушивание музыки и т.п.). Дважды в год (весной и поздней осенью) рекомендуется проводить курс витаминотерапии в течение месяца. Следует отказаться от курения. Категорически должно быть запрещено курение на рабочих местах и в помещениях с ПК.

Обеспечение электробезопасности и пожарной безопасности на рабочем месте

Электробезопасность.

На рабочем месте пользователя размещены дисплей, клавиатура и системный блок. При включении дисплея на электронно-лучевой трубке создается высокое напряжение в несколько киловольт. Поэтому запрещается прикасаться к тыльной стороне дисплея, вытирать пыль с компьютера при его включенном состоянии, работать на компьютере во влажной одежде и влажными руками.

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра.

Токи статического электричества, наведенные в процессе работы компьютера на корпусах монитора, системного блока и клавиатуры, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Такие разряды опасности для человека не представляют, но могут привести к выходу из строя компьютера. Для снижения величин токов статического электричества используются нейтрализаторы, местное и общее увлажнение воздуха, использование покрытия полов с антистатической пропиткой.

#### Пожарная безопасность

Пожарная безопасность — состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных его факторов и обеспечивается защита материальных ценностей.

Противопожарная защита — это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

Пожары в ВЦ представляют особую опасность, так как сопряжены с большими материальными потерями. Характерная особенность

ВЦ — небольшие площади помещений. Как известно, пожар может возникнуть при взаимодействии горючих веществ, окислителя и источников зажигания. В помещениях ВЦ присутствуют все три основных фактора, необходимые для возникновения пожара.

Горючими компонентами на ВЦ являются: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, перфокарты и перфоленты, изоляция кабелей и др.

Источниками зажигания в ВЦ могут быть электрические схемы от ЭВМ, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате различных нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать загорания горючих материалов.

В современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты. При этом возможно оплавление изоляции. Для отвода избыточной теплоты от ЭВМ служат системы вентиляции и кондиционирования воздуха. При постоянном действии эти системы представляют собой дополнительную пожарную опасность.

Для большинства помещений ВЦ установлена категория пожарной опасности В.

Одна из наиболее важных задач пожарной защиты — защита строительных помещений от разрушений и обеспечение их достаточной прочности в условиях воздействия высоких температур при пожаре. Учитывая высокую стоимость электронного оборудования ВЦ, а также категорию его пожарной опасности, здания для ВЦ и части здания другого назначения, в которых предусмотрено размещение ЭВМ, должны быть первой и второй степени огнестойкости. Для изготовления строительных конструкций используются, как правило, кирпич, железобетон, стекло, металл и другие негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Данная дипломная работа посвящена теории практики физических процессов в особенности интерференции, когерентности, когерентной оптики и других служащих в теории практики оптики, квантовой оптики, оптических элементов, процессоров наиболее современного перспективного компьютера называемого оптическим компьютером. Материалом дипломной работы можно использовать в научных исследованиях физических процессов оптических компьютеров а также в учебных процессах средних школ, колледжей, ВУЗ ах.

## **ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Д. Тифоне, Р. Россер «Микропроцессоры и микрокомпьютеры» «Мир» 1983
2. В. Кобулов «Алгоритмы, цифровые автоматы» Таш-1978
3. В. Глушков «Синтез цифровых автоматов» 1976
4. Г Фимпнов, О Белким «Проектирование логических узлов ЭВМ» М. 1974
5. Наумов Ю.Е «Интегральные логические схемы» М. 1970
6. Напернов А.А «Логические основы цифровой вычислительной техники» М. 1972
7. Кобринский Н.Е, Трахтенброт Б.А «Введение в теорию конечных автоматов» М. 1962
8. Акисимов Б.В, Чейвериков Н.В «Основы теории и проектирование ЦЭВМ» м. 1970
9. Фисгер М. «Логические проектирование цифровых вычислительных машин» перевод с английского. Киев 1973
10. Поспелов Д.А «Логические методы анализа и синтеза схем» М. 1972
11. Исихара С. «Оптический компьютер»: Новая эра науки М. наука 1992г 96.ст
12. Акаев А.А, Майоров С.А «Оптические методы обработки информации» - М: Высшая школа 1988г 237ст
13. Евтихиев Н.Н, Каринский С.С, Мировицкий Д.И «Когерентно-оптические устройства передачи и обработки информации» М.1987г 158ст
14. Морозов В Н. «Оптоэлектронные матричные процессоры» М.: Радио и связи 1986г 112с
15. Аристова М.Л, Быковский А.Ю «Методика реализации оптоэлектронных схем многопараметрической обработки сигналов на основе принципов многозначной логики» // кв электр 1995т.22, в.10, 980-984с
16. Аверкин А Н, Быковский А Ю. «Оптоэлектронное логическое устройство» патент рф 2138 356
17. Роко М. «Нано технология в ближайшем десятилетии прогноз направления исследований» М. Фазис 2004.
18. Маллаев Н.А, Егор А.Ю, Жуков А.Е и др. 2001 фтп 881
19. Liul. Jpticalimplemetation of parallel fuzzy logic.
20. А Шайкулов «Информатика ва ахборот технологиялари» Карши «Насаф» нашриёти 2007 йил
21. В Кобулов «Алгоритмлар ва ракамли автоматлар» т.1976

*Уважаемые председатели ГЕК уважаемые преподаватели и студенты моя дипломная работа посвящено самому высокоскоростному перспективному компьютеру называемый Оптический Компьютер основанные на теориейки и практики оптики физический процессоров оптике преломление интерференция, дифракция, когерентность, бистабильность фотонные физический процессы и др. способствующие созданию логических оптических функции оптическим процессором. Эти логические функции и оптический процессор можно показать с помощью мультимедийный, физический мультимедийный. В работе освещены преобразование Фурье, Гильберта раскрывающие физической основа работы Оптический Компьютер*

Мною изучено научно учебный литература по физическим процессом и оптическим компьютером на узбекский, на русский и на английских языках. На основе требование дипломного работы, написано дипломная работа.

## **Введение**

**Часть 1.** Достаточно широко раскрыта физические процессы интерференция, дифракции, дисперсии, когерентности, фотонности, бистабильности а также разработаны анимационные модели интерференция в тонких пленках зон Френеля. Разработаны компьютерные программы.

**Часть 2.** Достаточно широко описано преобразование Фурье, Гильберта для физических процессов элементов оптических компьютеров корреляционного спектрального анализа используемое в физических процессов оптического компьютера. Начиная оптических функциях элементов. Дипломную работу можно использовать научном процессе и научных исследованиях в области оптических компьютеров.