

**ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

УДК 621.378:535:681.31

**И. С. ГИБИН, В. П. КОРОНКЕВИЧ,
Ю. Е. НЕСТЕРИХИН, П. Е. ТВЕРДОХЛЕБ**

(Новосибирск)

**ПЕРВЫЙ СОВЕТСКО-АМЕРИКАНСКИЙ СЕМИНАР
ПО ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ**

(Обзор)

Первый советско-американский семинар по оптической обработке информации проходил с 16 по 21 июня 1975 года в г. Вашингтоне (США). На семинаре делегация Академии наук СССР в составе чл.-корр. АН СССР Ю. Е. Нестерихина (руководителя делегации), канд. техн. наук В. П. Коронкевича, канд. техн. наук П. Е. Твердохлеба, И. С. Гибина (ИАиЭ СО АН СССР, г. Новосибирск), д-ра физ.-матем. наук С. Б. Гуревича (ФТИ им. А. Ф. Иоффе, г. Ленинград) и канд. физ.-матем. наук И. Н. Компанца (ФИ АН СССР, г. Москва) представляла Отделение общей физики и астрономии.

Американская делегация была представлена учеными крупнейших университетов и фирм США: Дж. Строуком (руководителем делегации, университет, г. Нью-Йорк, Стони Брук), У. Коком (университет, г. Цинциннати, Огайо), Б. Томпсоном (университет, г. Рочестер, Нью-Йорк), Дж. Гудменом (Стэнфордский университет, г. Стэнфорд, Калифорния), А. Корпелем (фирма «Зенит», г. Чикаго, Иллинойс), Р. Ландауэром (фирма ИВМ, г. Йорк таун Хейтс, Нью-Йорк), А. Вандер Люгтом (фирма «Харрис», г. Мельбурн, Флорида), Д. Касасентом (Корнельский университет, г. Питтсбург, Пенсильвания) и С. Ли (Калифорнийский университет, г. Сан-Диего, Калифорния).

На официальной встрече участников семинара приветствовал представитель госдепартамента США доктор Лео Паркер. Ниже указаны названия докладов, прочитанных на семинаре.

1. Б. Томпсон. Когерентно-оптическая обработка информации (обзор).
2. Дж. Строук. Применение оптики в цифровой связи и обработке информации.
3. Ю. Е. Нестерихин. Оптические устройства для хранения и обработки информации.
4. С. Ли. Нелинейная оптическая обработка изображений.
5. В. П. Коронкевич. Киноформные оптические элементы.
6. С. Б. Гуревич. Информационная емкость когерентно-оптических систем.
7. Дж. Гудмен. Шумы при когерентно-оптической обработке информации.
8. У. Кок. Параллельные оптические вычисления в радарх с синтезированной апертурой.

9. Д. Касасент. Материалы и устройства для когерентно-оптических систем.

10. П. Е. Твердохлеб. Некогерентная оптическая система для обработки изображений и сигналов.

11. А. Корпель. Акустооптическая обработка сигналов.

12. И. Н. Компанец. Управляемые транспаранты для оптической обработки.

13. И. С. Гибин. Обработка информации в оптических системах голограммных запоминающих устройств.

14. Р. Ландауэр. Оптическая логика и память с оптической выборкой.

15. А. Вандер Люгт. Голографическая память.

Кроме того, на семинаре были представлены дополнительные доклады научных сотрудников ИАиЭ СО АН СССР.

1. Оптическая реализация преобразования Фуко — Гильберта (В. А. Арбузов, В. А. Федоров).

2. Особенности физической реализации оптической оперативной памяти (Э. Г. Косцов, В. К. Малиновский, Ю. Е. Нестерихин, А. Н. Потапов).

3. Формирование асимметричных интерференционных линий в отраженном свете (Н. Д. Голдина, Ю. В. Троицкий).

Рукописи докладов были своевременно размножены, так что участники семинара имели возможность ознакомиться с ними задолго до выступления. Доклады сопровождалось многочисленными вопросами, обменом мнениями и дискуссиями. Дружеская, непринужденная атмосфера, сложившаяся между участниками советской и американской делегаций, способствовала плодотворной работе семинара и установлению прямых контактов по интересам.

На семинаре были представлены доклады о наиболее важных современных направлениях оптической обработки информации (линейная пространственная фильтрация, анализ и улучшение качества изображений, методы синтезированной апертуры, акустооптические устройства обработки сигналов, пространственно-временные модуляторы света, голографические устройства памяти и т. д.). Состояние работ по этим направлениям освещалось в ряде докладов обзорного характера. Кроме того, на семинаре рассматривались результаты новых исследований и разработок.

ДОКЛАДЫ АМЕРИКАНСКОЙ ДЕЛЕГАЦИИ

Б. Томпсон остановился на истории развития оптической пространственной фильтрации и отметил заслуги Э. Аббе, Ф. Цернике, А. Марешаля, Э. О'Нейла, А. Вандер Люгта, Е. Лейта, Дж. Строука и других ученых, получивших в этой области фундаментальные результаты. Он рассмотрел когерентно-оптические методы реализации амплитудной, фазовой и комплексной фильтрации изображений. Применение этих методов было иллюстрировано примерами фильтрации помех, выделения аномальных выбросов в графических записях, визуализации фазовых изображений и обнаружения изменений на фотоснимках.

В докладе Дж. Строука была обозначена область целесообразного применения оптических аналоговых методов вычислений. Проводилось сравнение производительности специализированных процессоров и современных ЭВМ при линейной обработке изображений. По мнению Дж. Строука, оптические методы следует применять при передаче изображений (космическая связь, кодирование изображений с числом элементов, большим 10^6), распознавании образов (этап выделения признаков) и восстановлении качества изображений (оптимальная инверсная фильтрация). Более подробно он остановился на задаче исключения де-

фокусировки, применяемой в электронной микроскопии для визуализации фазовых неоднородностей. Экспериментальные результаты Дж. Строука свидетельствуют о том, что голографический способ сужения импульсного отклика электронного микроскопа позволяет приблизиться к предельной разрешающей способности этого прибора (10—12 нм). Интерес представляет методика изготовления амплитудной (динамический диапазон $\sim 10^4$) и фазовой составляющих восстанавливающего голографического фильтра. Работы по повышению разрешающей способности электронного микроскопа проводятся Дж. Строуком совместно с сотрудниками фирмы «Сименс».

Доклад Дж. Гудмена был посвящен исследованию статистических свойств шумов, возникающих при реализации когерентно-оптических методов обработки информации и ограничивающих точность вычислений. Рассматривались шумы, свойственные оптическим системам и фотоприемникам (рассеяние элементов оптики, зернистость транспарантов и фильтров, спекл-шум, квантовые шумы), а также шумы, возникающие при получении изображений в условиях смаза, турбулентной атмосферы и т. п.

Указаны основные методы борьбы с помехами и, в частности, метод уменьшения влияния мультипликативных шумов (например, спекл-шумов). В этом случае исходное изображение логарифмируется, пропускается через когерентно-оптический согласованный фильтр и затем подвергается потенцированию. Нелинейные операции логарифмирования и потенцирования выполняются фотографическим путем. Получены хорошие экспериментальные результаты, иллюстрирующие эффективность фильтрации спекл-шума.

Кроме того, Дж. Гудмен на примере уменьшения влияния смаза остановился на задаче улучшения качества изображений. Восстанавливающий фильтр изготавливался по одностадийной методике, предусматривающей использование нелинейной характеристики фотоматериала при определенном соотношении интенсивности сигнального и опорного пучков света.

Дж. Гудмен известен советским специалистам по книге «Введение в Фурье-оптику», которая опубликована на русском языке издательством «Мир» в 1970 году. В настоящее время подготовлена к печати его новая книга «Принципы статистической оптики», посвященная статистическим аспектам голографии и оптической обработки изображений (статистика светового излучения и фотоэлектронного считывания; прохождение светового излучения через случайную неоднородную среду; шумы оптических систем обработки и т. п.). Книга будет издана во Франции в 1976 году.

Д. Касасент охарактеризовал состояние исследований и разработок в области материалов для пространственно-временных модуляторов света. Им был представлен чрезвычайно большой материал по термоэластическим, масляным, мембранным, жидкокристаллическим, ферроэлектрическим, акусто-, магнито- и электрооптическим модуляторам. Указаны характеристики этих устройств.

Заслуживает внимания сообщение о том, что в настоящее время в США интенсивно изучается фотодихроичная природа центров высшего порядка в KCl, NaCl и NaF с целью получения поляризационно-зависимой модуляции света. Особенно интересен NaF, позволяющий работать при комнатной температуре. Легированные литием образцы NaF с низким OH^- подобны фотохромным материалам, однако имеют более высокую чувствительность (150 мДж/см²). Дифракционная эффективность составляла 1—3%. Путем ионной имплантации этот материал может быть изготовлен в виде тонких пленок. Последние исследования показали, что фотодихроичные материалы являются более предпочтительными перед фотохромными.

По мнению Д. Касасента, перспективными модуляторами света для обработки изображений являются устройства типа «Фототитус» и PROM. Достигнуты следующие параметры этих устройств:

а) «Фототитус» на кристалле DKDP (толщина 170 мкм) с пленкой селена: разрешение 40 лин/мм; контраст 30:1; чувствительность 100 эрг/см²; время записи изображения 30 мкс; время стирания 3 мс; работа при температуре 50°C.

б) PROM на кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (толщина 660—900 мкм): разрешение 10 лин/мм при контрасте 2000:1 и 100 лин/мм при меньших значениях контраста; чувствительность 50 эрг/см²; дифракционная эффективность 10%. Промышленный выпуск модуляторов типа PROM освоен фирмой ИТЕК.

Особо выделены многоканальные акустооптические модуляторы, которые могут быть использованы для оперативного ввода страниц информации в голограммные ЗУ.

А. Корпель — известный американский специалист в области акустооптики. В 1965—1966 гг. он участвовал в работах по созданию лазерного телевизора. Отклонение светового пучка осуществлялось акустооптическим дефлектором. Телевизор был создан, однако из-за высокой стоимости он на рынок не поступил.

В докладе А. Корпель основное внимание уделил методам оптической обработки сигналов с использованием акустооптических линий задержки. Были изложены физические основы акустооптической модуляции света (дифракции Брегга и Рамана — Ната). Рассмотрены варианты акустооптических систем, осуществляющих вычисление функции корреляции сигналов и их спектров Фурье. Некоторые из них работают по методу оптического гетеродинамирования. Приведены примеры разработанных устройств (корреляторы Слободина, Арма и др.).

А. Корпель в настоящее время работает над системой видеодисковой приставки к телевизору. Средняя стоимость цветного телевизора в США составляет 500 долларов, поэтому считается, что цена приставки не должна превышать эту сумму. Серийный выпуск приставок к телевизорам планируется на 1979—1980 гг. Они рассчитаны на показ цветных кинофильмов длительностью 30 мин. Информация, содержащаяся на видеодиске, соответствует 54 000 озвученных цветных телевизионных кадров. Объем памяти 10¹¹ бит. Ожидается, что фирма «Зенит» от продажи приставок получит доход в размере 5 · 10⁹ долларов в год.

Доклад У. Кока был посвящен методам получения голограмм в микроволновом и звуковом диапазонах с использованием синтезированной апертуры. Рассмотрены случаи применения когерентных и некогерентных источников излучения. Полученные голограммы восстанавливают изображение участка местности или предмета с высоким разрешением. Это подтверждено результатами экспериментов.

Интересны результаты, иллюстрирующие возможность создания систем синтезированной апертуры, работающих в реальном времени. В этих системах запись и восстановление голограмм производится с помощью светоклапанных трубок. Мишени трубок изготовлены из кристаллов DKDP толщиной 0,5 мм. Запись изображения производится электронным лучом. Частота смены кадров составляет от 16 до 30 раз в секунду.

У. Кок остановился также на возможности применения круговой поляризации в лазерных радарах. Поскольку круговая поляризация света при прохождении атмосферы со взвешенными частицами (предполагается, что частицы имеют форму, близкую к круглой) не меняется, то это свойство можно использовать для выделения полезного сигнала на фоне шумов рассеяния. Приведены результаты лазерной локации башни аэропорта в условиях тумана. Использование света с круговой поляризацией позволило существенно улучшить качество изображения. Доклад-

чик отметил, что таким способом может быть улучшена видимость изображений в ночное время. Круговая поляризация может применяться также в целях трехмерного отображения труднонаблюдаемых процессов.

Интересный доклад прочел Р. Ландауэр — представитель исследовательского центра фирмы IBM. Он изложил свои взгляды на целесообразность применения лазеров при создании устройств ввода-вывода, логики и памяти.

По мнению докладчика, применение лазеров при создании устройств ввода-вывода информации позволит улучшить их характеристики. В качестве примера он указал на новое печатающее устройство IBM 3800 со скоростью записи 13 360 строк в минуту. С помощью луча лазера, отклоняемого вращающимся многогранным зеркалом, регистрируемая информация вначале переносится на фотопроводник, а затем на бумагу контактным способом.

Кроме того, было отмечено, что лазеры в США нашли широкое применение в коммерции. Для этих целей фирма IBM разработала кассовый аппарат IBM 3666, используемый в торговле для считывания кодов и цен товаров, а фирма «Ксерокс» — факсимильную систему «Телекопир-200», предназначенную для считывания документов.

Далее Р. Ландауэр произвел оценку добротности оптических переключателей в сравнении с электронными. Предполагалось, что оптические переключатели основаны на эффектах взаимодействия световых пучков полупроводниковых инжекционных лазеров. Цифры свидетельствуют о том, что оптические элементы ни по энергии, затрачиваемой на переключение, ни по плотности размещения не имеют преимуществ перед электронными. Кроме того, у электронных элементов далеко не исчерпан запас по быстродействию (100 пс у транзисторов и 38 пс у элементов на эффекте Джозефсона) и по затратам энергии на переключение ($3 \cdot 10^{-18}$ Дж у элементов на эффекте Джозефсона). В сравнении с оптическими элементами они являются более технологичными и гибкими в перестройке. Отсюда автор делает вывод о бесперспективности применения полупроводниковых лазеров при создании пороговых устройств машинной логики.

Р. Ландауэр положительно оценил применение лазеров в устройствах связи, аналоговой обработки информации и оптической постоянной памяти. Аналоговые устройства обработки обладают высокой производительностью, а устройство памяти — высокой плотностью записи и низкой стоимостью хранения информации (10^{-5} — 10^{-6} цент/бит). Возможность создания устройств оптической оперативной памяти, по мнению Ландауэра, остается проблематичной в связи с отсутствием подходящих реверсивных сред.

Хорошие перспективы создания оперативной памяти большой емкости имеются у магнитных цилиндрических доменов ($\sim 10^9$ бит/см²). Существуют возможности увеличения емкости памяти до $3 \cdot 10^{12}$ бит у запоминающих устройств на магнитных лентах.

С. Ли занимается вопросами разработки оптических методов нелинейного преобразования изображений. Эти методы основаны на применении ячеек с нелинейной характеристикой «пропускание — интенсивность падающего света».

В своем докладе С. Ли рассмотрел несколько оптических систем, содержащих нелинейные ячейки в предметной или частотной плоскостях. При экспериментальном исследовании этих систем применялись ячейки с органическими красителями и импульсные рубиновые лазеры. Результаты экспериментов свидетельствуют об эффективности применения нелинейных методов для повышения контраста изображений.

Докладчик охарактеризовал ряд материалов, пригодных для использования в нелинейных ячейках (Cryptocyanin, DODGI, R6G, Iodine, Sodium). Нелинейные свойства этих материалов проявляются при боль-

ших интенсивностях света (10^3 — 10^7 Вт/см²). Длина волны поглощения находится в диапазоне 514,5—694,3 нм; ширина полосы 50,0 нм, время жизни $0,04 \cdot 10^{-9}$ — $3 \cdot 10^{-6}$ с.

Нелинейные ячейки с более высокой чувствительностью могут быть созданы на основе структур «фотопроводник — электрооптический материал». В качестве фотопроводника могут применяться сульфид кадмия, поливинилкарбазол и др., в качестве электрооптического материала — ниобат лития, жидкий кристалл и др. Для таких структур достигнуты: чувствительность 1—50 мВт/см² (для жидких кристаллов), разрешение ~ 50 лин/мм, управляющее напряжение 20—100 В, время переключения 20—60 мкс.

Нелинейная ячейка, обладающая пороговыми свойствами, представляет собой интерферометр Фабри — Перо с органическим красителем. Путем изменения коэффициента отражения зеркал интерферометра можно управлять уровнем ограничения интенсивности падающего света.

В заключительной части доклада С. Ли рассмотрел возможности дискретной логической обработки информации («картинной логики») на основе планарных пороговых ячеек типа «фотопроводник — электрооптический кристалл», чем вызвал оживленную дискуссию. Основным оппонентом был Р. Ландауэр, считающий, что на этом пути лежат серьезные технологические проблемы. По мнению Р. Ландауэра, как указывалось выше, оптическая логика не имеет преимуществ в сравнении с электронной.

В своем докладе А. Вандер Лютг дал общую оценку состоянию работ в области голографической памяти и подробно остановился на разработках фирмы «Харрис».

Была рассмотрена структура голографической системы памяти с пограничной организацией и совмещенными функциями записи и считывания информации. Отклонение светового пучка осуществляется акустооптическим дефлектором. Отмечено, что емкость памяти такой системы не может превышать 10^9 бит. Для достижения большей емкости необходимо применять реверсивные объемные среды либо подвижные носители.

А. Вандер Лютгом предложен метод ступенчатой голографической записи картографической информации: вначале производится уменьшение размера изображения, а потом его голографирование (и восстановление голограмм). Первоначальный размер изображения (24×36 дюйм) на входе оптической системы уменьшается до размера 10×15 мм на фотоматериале.

Голограммы записываются на пластинки 4×6 дюймов и восстанавливаются на экране, равном размеру карты (24×36 дюймов). Размер голограмм 10 мм.

Далее А. Вандер Лютг остановился на системе голографической памяти, предназначенной для хранения и считывания визуальной и цифровой информации. Система основана на использовании стандартных микрофишей, на которые с помощью специального лазерного регистратора наносятся одномерные синтезированные голограммы цифровых кодов, а также обычные изображения карт, текста и т. п. Общее число микрофишей 7000. Полная емкость памяти $2 \cdot 10^{11}$ бит. Система предназначена для работы в качестве массовой памяти с ЭВМ PDP 11/45 в режиме «on line». Минимальное время выборки блока информации 500 килобит составляет 3 с, максимальное — 15 с. Стоимость $2,5 \cdot 10^{-6}$ цент/бит. В настоящее время завершается разработка технического прототипа такой системы.

Фирмой «Харрис» разработана экспериментальная модель высокоскоростного цифрового голографического регистратора для записи информации словами по 128 бит. Запись производится в виде одномерных линейчатых голограмм. Длина голограммы 800 мкм, ширина 5—10 мкм.

Основными элементами регистратора являются: демультиплексор, распределяющий входную информацию на 128 каналов; 128-канальный акустооптический модулятор, преобразующий параллельный электронный сигнал в параллельный оптический; оптика, формирующая сигнальный и опорный световые пучки; вращающийся зеркальный барабан, осуществляющий сканирование опорного и сигнального пучков по поверхности движущейся регистрирующей пленки; 128-элементная линейка фотоприемников; мультиплексор, преобразующий параллельный сигнал в последовательный. Регистратор обеспечивает скорость записи до 400 Мбит/с, скорость считывания до 40 Мбит/с. Запись производится на обычную фотопленку типа «Agfa Gevaert 10E56».

Кроме того, фирмой «Харрис» разрабатывается высокоскоростной регистратор, обеспечивающий запись на подвижный носитель голограмм двумерных массивов. Предполагается, что такой регистратор будет обеспечивать скорость записи до 1 Гбит/с.

ДОКЛАДЫ СОВЕТСКОЙ ДЕЛЕГАЦИИ

Ю. Е. Нестерихин, отмечая особенности современных физико-технических исследований, указал на важность разработки идеологии и средств их автоматизации. По мнению докладчика, устройства ввода-вывода, голографические ЗУ, специализированные оптические процессоры, дисплей и др. — важные элементы перспективных многомашинных систем автоматизации научных исследований.

Работы Института автоматики и электрометрии СО АН СССР в этой области были представлены следующими устройствами:

1. Системы «Фотон» и «Карат» (электронно-лучевой вывод информации из ЭВМ на микрофильм, размер кадра 20×20 мм, число адресуемых точек 4096×4096).

2. Графический дисплей «Дельта» (интеллектуальный терминал со световым пером).

3. Прецизионный фотограмметрический автомат «Зенит» (обработка данных астрофизических исследований; рабочее поле перемещения 300×300 мм; точность позиционирования 0,32 мкм).

4. Двухкоординатный акустооптический дефлектор на кристаллах KRS-5 и молибдата свинца (32×32 положения; время переключения луча лазера 5—30 мкс). Дефлектор разработан ИАиЭ совместно с ИФП СО АН СССР.

5. Взаимодействующий с ЭВМ макет голограммного ЗУ с записью и считыванием информации.

Кратко приведены результаты исследований по пространственно-временным модуляторам света (на основе германата висмута) и интегральным фотоматрицам.

В. П. Коронкевич рассмотрел методы получения простейших киноформных элементов на тонких пленках халькогенидных стеклообразных полупроводников. Моделирование линейного фазового фронта осуществлялось путем сканирования по пленке изображения прямоугольного треугольника. Для воспроизведения линейного профиля призмы гипотенуза треугольной маски заменялась кривой линией в соответствии с нелинейностью характеристики материала. Киноформная призма, полученная таким путем, имела дифракционную эффективность, равную 96%.

Для получения цилиндрической линзы изготовлялась маска, состоящая из 24 элементарных ячеек, моделирующих зоны Френеля. Сканированием изображения маски получен растр из пяти цилиндрических линз. Потери света в таком растре составляли несколько процентов.

При изготовлении сферических линз использовался интерферометр Фабри — Перо в отраженном свете. В этом случае исключалось не только квантование, но и сканирование. Несимметричное распределение интенсивности света в кольцах Фабри — Перо, моделирующее распределение фазы в киноформной линзе, получалось с помощью отражательного интерферометра специальной конструкции. Интерференционная картина с фотопластины контактным путем переносилась на халькогенидную пленку. Полученные киноформные линзы имели следующие параметры: диаметр 16 мм, разрешение 10 лин/мм, дифракционная эффективность порядка 50%.

Доклад И. Н. Компанца был посвящен анализу возможностей создания управляемых транспарантов на основе оптически прозрачной керамики ЦТСЛ (твердый раствор цирконата-титаната свинца с лантаном) и жидких кристаллов.

Были приведены результаты экспериментального исследования ЦТСЛ-керамики состава 8/65/35, обладающей большими значениями наведенного двулучепреломления при высокой прозрачности. На длине волны $\lambda=0,63$ мкм пропускание образцов (площадь ~ 2 см², толщина 0,1 мм) в термически деполяризованном состоянии 58%. С учетом 33%-ного отражения потери света на поглощение и рассеяние составили 9%. Максимальное изменение двулучепреломления в случае поперечного электрооптического эффекта $2,2 \cdot 10^{-3}$.

Отмечено, что с точки зрения применения керамики особого внимания заслуживают обратный пьезоэффект (максимальное изменение фазы 1,75л при $E=10$ кВ/см), краевой эффект (максимальное изменение двулучепреломления $1,2 \cdot 10^{-3}$, контраст 12) и эффект асимметричной деформации (максимальное изменение двулучепреломления $1,55 \cdot 10^{-3}$, контраст 58). Время переключения ~ 1 мкс при напряжении 200 В и 2—4 мкс при напряжении 170—160 В.

Образцы электрически управляемых транспарантов на жидких кристаллах имели матричную разводку. Количество элементов матрицы 8×8 . Была использована смесь нематических кристаллов MBVA и EBVA с весовым соотношением 2:1.

Образцы оптически управляемых транспарантов изготовлены на основе структур фотопроводник (NLC) — жидкий кристалл (MBVA — EBVA — EBAВ с весовым соотношением 4:2:1). Управление работой транспаранта осуществляется светом с $\lambda=0,44$ мкм (или 0,51 мкм), считывание — светом с $\lambda=0,63$ мкм. Получена 100%-ная фазовая модуляция (сдвиг на π). Транспарант применен для реализации метода фазового контраста и преобразования Гильберта.

И. С. Гибин в своем докладе отметил, что в настоящее время существует тенденция к разработке голограммных ЗУ, в которых функции хранения информации совмещены с функциями ее обработки. С целью определения характера преобразований, которые можно выполнять в голограммных ЗУ с матричной организацией памяти, проведен анализ общей структурной схемы таких устройств и показано, что оптические системы ГЗУ, содержащие матрицу голограмм, принадлежат к классу пространственно-неинвариантных линейных систем. Эквивалентом импульсного входного воздействия в этом случае является световой пучок, направленный на одну из голограмм матрицы, а реакцией на воздействие — изображение восстановленной страницы информации. Характер импульсной реакции определяется содержимым голограммы и меняется от голограммы к голограмме. Поэтому такие системы могут быть использованы для реализации линейных интегральных преобразований общего вида.

Приведены практические варианты оптических систем ГЗУ с функциями постраничной обработки информации. Возможности обработки иллюстрированы на примерах ассоциативного поиска и спектрального

анализа изображений и подтверждены экспериментальным путем.

Доклад П. Е. Твердохлеба был посвящен рассмотрению оптической аналоговой системы, реализующей операцию умножения трех мно-гоэлементных матриц. Такие преобразования применяются, например, при многоканальной обработке сигналов и при обработке изображений (задачи анализа, фильтрации, обнаружения и кодирования). Элементы результирующей матрицы вычисляются независимо и параллельно.

Была рассмотрена принципиальная схема оптической системы. В си-стеме используется некогерентный источник света с диффузным рассеивателем, а исходные матрицы задаются на транспарантах и работают на пропускание. Формирование световых пучков, соответствующих ал-горитму умножения матриц, осуществляется за счет применения элемен-тов сферической и цилиндрической оптики. Идея подтверждена экспери-ментально на примерах умножения тестовых матриц (размерностью 8×8 и 16×16). Иллюстрировалась также возможность параллельного спектрального анализа тестовых изображений по базисам Уолша и Ле-жандра. Показано, что для типичных параметров оптической системы размерность умножаемых матриц составляет величину порядка 100×100 .

Предложенная система относится к классу пространственно-неинва-риантных линейных систем и позволяет существенно расширить класс интегральных преобразований, реализуемых некогерентными оптически-ми методами.

С. Б. Гуревич рассмотрел когерентно-оптическую систему филь-трации и произвел оценку ее информационной емкости. Было показано, что апертурные ограничения, частотно-контрастная характеристика фо-томатериала, конечный размер пространственно-частотного фильтра и шумы системы существенно влияют на потери информации. Сделан вы-вод о том, что при проектировании системы фильтрации ее информаци-онная емкость должна быть согласована с информационной емкостью фильтра.

В докладе Э. Г. Косцова, В. К. Малиновского, А. Н. По-тапова обсуждались особенности физической реализации оператив-ной оптической памяти. Показано, что с максимальной эффективностью может функционировать среда, в основу действия которой положено фо-тоэлектрическое преобразование энергии при записи и электрооптические эффекты при считывании. Применение подобных сред, состоящих из ди-скретных ячеек с двумя устойчивыми состояниями, позволяет рацио-нально использовать для связи между ними третье измерение. По оцен-кам достижима предельная плотность размещения ячеек $\sim 10^5$ см², добротность 10^{12} Дж⁻¹, тактовая частота $\sim 10^7$ Гц. Особенности функ-ционирования модели элементарной ячейки исследованы эксперимен-тально.

Доклад В. А. Арбузова и В. А. Федорова был посвящен рассмотрению новых оптических систем, осуществляющих преобразование Фуко—Гильберта. Особенность систем состоит в том, что они позволяют осуществить изотропную (без слепых зон) неискажающую визуализа-цию слабых ($\Delta\varphi \approx 10^{-6}$ рад), медленно меняющихся ($f < 10$ лин/см) фа-зовых неоднородностей с контрастом в 4—5 раз бóльшим, чем в серийно выпускаемых теплеровских теневых приборах. Кроме того, в системах предусмотрены возможности для регулируемого оконтуривания (подчер-кивания краев) неоднородностей.

В докладе Н. Д. Голдиной и Ю. В. Троицкого была из-ложена методика получения асимметричных интерференционных полос в отражающем двухзеркальном интерферометре. В этом случае переднее зеркало состоит из очень тонкой ($\ll \lambda$) поглощающей металлической пленки и многослойного диэлектрического покрытия. Изменяя проводи-мость пленки и параметры диэлектрических слоев, можно в очень широ-

ких пределах управлять асимметрией полос. Приведены формулы для расчета зеркала, в котором диэлектрическое многослойное покрытие обращено внутрь интерферометра. Описаны результаты эксперимента, подтверждающие принцип управления асимметрией и метод его расчета. Интерферометр с асимметричным (треугольным) профилем полос применен для изготовления сферических киноформных элементов (см. доклад В. П. Коронкевича).

В процессе работы семинара состоялся просмотр советского научно-популярного фильма «Вперед — оптическая электроника». Перед началом просмотра И. Н. Компанец рассказал о съемках фильма в лабораториях ФИАН СССР, ИАиЭ СО АН СССР и других организациях. Представители американской делегации (Дж. Строук, У. Кок, А. Корпель и др.) дали высокую оценку научной направленности фильма и художественному мастерству режиссера Н. Г. Соломенцева.

Материалы Первого советско-американского семинара по оптической обработке информации изданы на английском языке издательством "Plenum Publishing Corporation" (222 West, 17th Street, New York, 10011).

Поступила в редакцию 11 февраля 1976 г.

УДК 681.325.5

Д. И. БИЛЕНКО,
В. А. ЛОДГАУЗ, И. И. ЛЯСКОВСКИЙ
(Саратов)

КОНТРАСТНОСТЬ ОПТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ТРАНСПАРАНТОВ

Наиболее перспективными с точки зрения предъявляемых к транспарантам требований (например, работа в режиме усиления без понижения частоты [1]) представляются оптически управляемые динамические транспаранты на основе двухслойных или многослойных структур, в которых функции приема управляющего излучения и пространственной модуляции управляемого излучения распределены между отдельными слоями. В таких транспарантах необходимо создание зеркала между этими слоями для оптической развязки двух излучений.

При разработке динамических транспарантов необходимо исходить прежде всего из их контрастности, так как именно этот параметр определяет модуляционные свойства транспаранта. Кроме того, контрастностью непосредственно связана разрешающая способность динамического транспаранта [2].

Контрастность можно определить как отношение интенсивности излучения на выходе транспаранта при максимальном входном сигнале на фотопроводнике (ФП) к интенсивности на выходе при нулевом входном сигнале.

Динамический транспарант на эффекте Франца—Келдыша. В предположении степенной зависимости изменения коэффициента поглощения $\Delta\alpha$ от поля E [3]:

$$\Delta\alpha = aE^b,$$

где a и b — константы; контрастность динамического транспаранта, работающего на эффекте Франца—Келдыша с двукратным прохождением