

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

778.534 + 621.397

ГОЛОГРАФИЯ В КИНО И ТЕЛЕВИДЕНИИ *)**Б. П. Константинов**

Я не предполагаю сообщить вам что-либо сенсационное по поводу использования голографии в кино и телевидении. Мне хотелось бы высказать некоторые взгляды на голографическое кино и телевидение, на возможности их осуществления и обсудить следующие вопросы. Первый: что следует понимать под голографическим кино и телевидением? Второй: какие преимущества дает применение различных голографических методов в кино и телевидении? Третий: каковы технические перспективы применения голографических методов в кино и телевидении?

С. М. Рытов в лекции, открывавшей занятия в нашей школе, сказал, что объемность изображений в стереоскопах, в стереокино и в стереотелевидении, по-существу, является обманом зрения. Однако этот обман зрения, вызывающий ощущение объемности и обусловленный наличием у человека двух глаз, расположенных на расстоянии 60—65 мм друг от друга, показывает, что для создания впечатления объемности нужно не так уж много. Отсутствие параллакса в стереокино или в стереотелевидении не должно существенно сказываться на впечатлении объемности, поскольку зритель перед экраном стереотелевизора или в кинозале не может перескакивать с места на место как угорелый, чтобы увидеть параллакс в изображении. Вместе с тем в стереокино существенно увеличивается полнота восприятия. Эффекты пространственного восприятия появляются в широкоформатном кино без всяких стереоскопических приспособлений. Здесь они достигаются за счет размеров экрана и применения широкоугольной оптики. Эти эффекты создают впечатление не только стереоскопичности, но даже вызывают у зрителя ощущение участия в этом кинодействии. Зритель как бы находится среди исполнителей. Те, кто видел итало-французский фильм «Большой приз», помнят возникающее ощущение участия в гонках, хотя никакой стереоскопичности нет. Впечатление объемности в широкоформатном кино достигается, кроме того, тем, что объекты подвижны и все время меняют свое расположение. Однако при больших расстояниях до изображения впечатление объемности не возникает из-за малости базового расстояния между глазами. Интересно, что пространственное восприятие плоских объектов, в том числе кино и телевизионных изображений, может возникнуть при рассмотрении

*) Лекция, прочитанная 24 января 1969 г. участникам школы по физическим основам голографии (школа работала 20—25 января 1969 г. в г. Москве). Это было последнее публичное выступление академика Б. П. Константинова, скончавшегося 9 июля 1969 г.

плоского изображения одним глазом. Если посмотреть на хорошую фотографию или киноэкран одним глазом, то вы почувствуете объемность изображения, хотя никакого бинокулярного зрения здесь нет. Возникает довольно яркая иллюзия объемности, которая сразу пропадает, как только вы откроете второй глаз. Исчезновение этой иллюзии происходит по той причине, что второй глаз разоблачает «обман», устанавливая двумерность изображения. Надо сказать, что возникающая иллюзия объемности двумерного изображения производит большое впечатление. Ощущение объемности здесь связано с масштабами предметов, с перспективой, отображенной фотоаппаратом.

Голограмма при достаточной разрешающей способности регистрирующего материала может быть образована таким образом, что при восстановлении изображение предмета или группы предметов будет обзреваться со всех сторон, в том числе сверху и снизу, т. е. изображение, восстанавливаемое с голограммы, действительно является трехмерным. Голограмма имеет большой динамический диапазон яркостей, недоступный для фотопластинки или телеэкрана. Кроме того, изображение с голограммы, имеющей всего две градации — черное и белое, может иметь большое количество полутонов. Как уже указал в своей лекции профессор А. Л. Микаэлян, действительное восстановленное изображение можно рассматривать в лупу или с помощью микроскопа, фокусируясь на различные планы объекта. Если в начале века постоянная Больцмана определялась по счету сферических частиц гуммигута, взвешенных в жидкости, с помощью микроскопа, то сейчас мы могли бы с помощью импульсного лазера снять голограмму объема кюветы со взвешенными в ней частицами, а затем исследовать распределение частиц, просматривая действительное восстановленное изображение. В лекции Б. Г. Турухано, который занимался вопросами определения пространственного распределения треков частиц в пузырьковой камере, указывается на возможность апостериорной обработки голографических изображений. При этом возможен анализ не только равновесного распределения частиц в эмульсии или суспензии, но и процессов установления равновесия, функций распределения по размерам и т. д. Такое использование голографии открывает большие возможности для исследователей.

Лейт, Упатниекс и другие авторы обсуждали вопрос об использовании голографии в кино и телевидении. Они пришли к выводу, что для осуществления голографического телевидения нужна очень широкая полоса частот, соответствующая тому огромному количеству информации, которое должно быть записано на голограмме. Действительно, если подсчитать количество информации, которое передается за одну секунду при цветной телевизионной передаче, учитывая, что кадры сменяются с частотой 25 *гц*, а количество элементов разложения составляет величину порядка 400 000 при десяти тоновых градациях и трех цветах, то оно окажется огромным. В цветном кино полоса частот может доходить до десятков и даже сотен мегагерц. Однако цветное кино осуществляется значительно проще, чем телевизионная передача, вследствие многоканальности передачи информации. В кино нет необходимости осуществлять пространственную развертку изображения, т. е. превращать пространственное распределение яркостей в последовательность сигналов во времени. Ясно, что для передачи цветного объемного изображения необходима еще большая полоса частот, чем в цветном телевидении или кино. Возможно, что несущей частотой в системах голографического объемного телевидения будут частоты инфракрасного или видимого диапазонов.

Определим, что же надо называть голографическим кино и телевидением. Остановимся сначала на телевидении. Что необходимо сделать

для создания объемного голографического телевидения, т. е. в конце концов для наблюдения мнимого восстановленного изображения? Совершенно ясно, что необходимо создать такой экран, на котором бы появлялись голограммы, восстанавливаемые с помощью местного источника света. При этом размеры экрана должны быть достаточно большими, чтобы зритель при изменении положения мог наблюдать параллакс. Только тогда объемное восприятие будет совершенно полным. Однако на пути осуществления такой системы возникает ряд трудностей, первая из которых — создание экрана, на котором могли бы образовываться голограммы. Фотографические материалы для создания подобных экранов не подходят. Хотя, если вспомнить историю развития телевидения, существовала немецкая система «Свишинг-фильм», в которой на приемном конце телевизионной системы изображение регистрировалось на кинопленку. Кинопленка после обработки поступала в кинопроектор. Естественно, что при этом имело место некоторое запаздывание во времени. Однако запаздывание несущественно, поскольку нам довольно часто приходится смотреть телевизионные программы, передаваемые в записи. Для этой цели сейчас используются видеоманитофоны. Системы, подобные системе «Свишинг-фильм», относятся к 30-м годам и сейчас не используются. Можно было бы использовать подобную систему для осуществления телевидения на большой экран в специальных учреждениях или кинозалах, но для широкого использования она неудобна. Кроме того, проекция на большой экран не решает задачу, поскольку мы должны образовывать на большом экране не изображение, а голограмму. Каким же образом образовывать голограмму на большом экране? Можно воспользоваться, скажем, какими-либо фотохромными материалами, которые меняют свое пропускание под действием, например, электронного пучка. Тогда при использовании достаточно мощного лазерного источника света мы могли бы восстановить объемное изображение, и задача была бы решена. Вопросы применения фотохромных материалов для регистрации голограмм сейчас изучаются.

Я хочу подчеркнуть, что для передачи достаточно большого количества информации, которое позволило бы наблюдать трехмерный объект с большим разрешением, необходимо иметь экран, на котором можно было бы образовывать голограммы, минуя фотопроект, с тем, чтобы восстановление изображения осуществлялось с наименьшим запаздыванием во времени или без запаздывания по отношению к моменту образования голограммы. Так, для осуществления телевизионной передачи голограмма должна исчезать, по крайней мере на 90%, за $1/25$ сек. Кроме того, экраны, на которых будут образовываться голограммы, должны обладать высоким разрешением. Использование фотохромных материалов может явиться одним из путей осуществления голографического телевидения. Другой путь состоит в использовании системы, которая, в принципе, позволяет получить голограмму на жидкой пленке. Имеется в виду система телевидения на большой экран, известная под названием «Эйдофор». В этой системе по пленке вакуумного масла, нанесенного на вогнутое зеркало, сканирует электронный пучок, осуществляющий развертку изображения так же, как это делается в обычных приемных телевизионных трубках — кинескопах. Электронный луч, как утверждают изобретатели этой системы, наносит заряд на поверхность пленки, а так как металлическая поверхность зеркала заземлена, движение зарядов под действием электростатических сил приводит к образованию рельефа на пленке масла. Таким образом, на зеркале образуется профилированная жидкая пленка, отвечающая кадру телевизионного изображения. Далее, жидкость с образовавшимся на ней рельефом используется для модуляции светового

потока от мощного источника, причем модуляция в данном случае является многоканальной. Превращение фазовых изменений в амплитудные осуществляется по методу Тёплера, и на большом экране можно видеть нормальное телевизионное изображение. У нас в стране уже начался выпуск таких приборов. Для голографического телевидения нет необходимости в применении теневого метода Тёплера. Достаточно осветить лазерным светом голограмму, образованную на жидкой пленке электронным пучком, чтобы получить возможность наблюдать объемное изображение в отраженном свете. Возможно, что подобные системы послужат основой для создания голографического телевидения.

Таким образом, если бы удалось создать соответствующие передающие устройства: видиконы, ортиконы или суперортиконы, с достаточным для голографирования количеством элементов разложения и можно было бы использовать достаточно широкий частотный канал порядка десятков или сотен мегагерц, то, используя на приемном конце устройство типа «Эйдофор» или экран из фотохромного материала, можно было бы осуществить объемное голографическое телевидение.

Теперь обратимся к голографическому кино. Для осуществления голографического кино нам нужно на всем экране, какой бы он ни был, будь то экран широкоэкранный или панорамного кино, образовать голограмму и осуществить восстановление изображения. Какими средствами? Мы видим пока всего два. Первое — экран из фотохромного материала и второе — использование лазерного освещения для восстановления голограмм. Только в том случае, когда голограмма образуется на самом экране, мы можем говорить о настоящем голографическом кино. Эта техника представляется сейчас чрезвычайно сложной. В отношении телевидения несколько легче. Там проблема в основном связана с необходимостью использования очень широкой полосы частот. В голографическом же кино — это проблема создания голографического материала с площадью порядка сотен квадратных метров.

Кроме того, как для голографического кино, так и для голографического телевидения, возникает проблема получения голограмм. Здесь возникает вопрос, о котором уже говорил Микаэлян. Это вопрос о длине когерентности. Совершенно ясно, что для какой-нибудь батальной сцены осуществить съемку голограммы невозможно, но это и не нужно, потому, что объемность при больших расстояниях исчезает. Для съемок ближним планом также возникают сложные проблемы, один из способов решения которых профессор Микаэлян видит в использовании запаздывающих опорных пучков. По-видимому, на этом пути можно придумать и что-либо более эффективное, чем эталоны Фабри — Перо, скажем, — интерферометры. Во всяком случае, проблема остается. И если подумать о том, как же снимать голограммы больших объектов или объектов, расположенных на большом расстоянии, то кажется, что их было бы легче снимать, используя не оптический диапазон длин волн, а более длинные волны, скажем, миллиметровые, а может быть, даже и сантиметровые. Спрашивается, можно ли в этом случае создать изображение, похожее на объект? Известно, что мы воспринимаем образы предметов по тому, как они отражают падающий на них свет — красный, зеленый, синий. Коэффициенты отражения поверхности предмета для различных длин волн могут быть различными, что вызывает у нас ощущение цветности. Но как будет выглядеть в пятимиллиметровом диапазоне лицо брүнета? Возможно, что его шею люра останется черной, благодаря большему поглощению излучения вследствие ее дисперсности, а лоб белым, но могут возникнуть и различные инверсии и изображение будет весьма непривлекательным. Напомню вам, что в нашей стране в Оптическом институте в свое время был разра-

ботан ультрафиолетовый микроскоп. Ультрафиолетовое излучение не воспринимается человеческим глазом. Каким же образом охарактеризовать цветность объекта? Профессор Е. М. Брумберг показал, что это можно сделать чисто условно. Вы выбираете в ультрафиолетовой области спектра две или три длины волны и приписываете каждой из них определенный цвет в видимой области. Тогда вы сможете наблюдать в ультрафиолетовых лучах объекты в условном цвете. В видимом свете объекты могут быть совершенно одинаковыми, а в ультрафиолете различны, и вы сможете распознать их и тем самым получить дополнительную информацию, например, о структуре клеток или микроорганизмов. В этом смысле можно ставить работы в направлении изготовления голограмм в области миллиметровых или субмиллиметровых волн и приписывать им определенные цвета. Вероятно, при этом потребуются определенный подбор, а возможно, потребуются и наложение специального грима на лица артистов, так, как это уже делается на студиях телевидения. Возможно, что съемка голограмм, как и в ультрафиолетовой микроскопии, будет производиться на радиочастотах, а восстановление будет осуществляться в видимой области спектра, но с подбором соответствующих соотношений длин волн.

Можно было бы дать такое определение настоящему голографическому телевидению и кино. Настоящее голографическое телевидение и кино — это голографирование на больших поверхностях и восстановление голограмм непосредственно с экрана телевизора или с киноэкрана. Таким образом, перед теми, кто будет работать над созданием голографического кино и телевидения, встанут чрезвычайно сложные проблемы. Для телевидения — это в основном вопрос использования очень широкой полосы частот, а для кино — проблема разработки принципов и конструирования голографического экрана.

Однако возможно использование голографических методов в кино и телевидении совсем не в том смысле, в каком я до сих пор говорил. Известно, что при передаче изображения в телевидении осуществляется превращение пространственного распределения освещенностей какого-либо экрана в последовательность сигналов во времени с помощью развертки. Осуществляются строчная и кадровая развертки. Выбирается конечное число строк; например, у нас 625 строк, в других странах большее или меньшее число, позволяющее передавать изображение с определенной четкостью, проверяемой по испытательным таблицам. В Ленинградском физико-техническом институте в 20-е годы профессор Термен занимался проблемой телевидения. Поскольку он хотел создать телевизионную систему быстро, ему пришлось использовать механическую систему развертки. Общее количество передаваемых элементов составляло всего несколько сотен, в то время как сейчас число элементов составляет сотни тысяч. И хотя число элементов было невелико, объекты, которые он передавал, легко распознавались. Таким образом, в зависимости от предъявляемых требований, иногда необходимо передавать большое количество информации, а иногда небольшое. Здесь уместно будет задать вопрос: чем могут помочь голографические методы при решении специфических задач? Допустим, что мы хотим передавать столько же информации, сколько позволяет передать существующая система телевидения. Уместно ли здесь применение голографических методов или нет? Я попытаюсь ответить на этот вопрос.

Если на экране имеется некоторое изображение, то освещенность экрана есть функция двух переменных. Такую функцию, по крайней мере в некоторых случаях, естественно анализировать с помощью двойных рядов Фурье. В результате анализа мы получили бы набор амплитуд

для разных гармоник в функции двух координат. Не позволит ли такое разложение обойтись при передаче меньшим количеством информации, чем при передаче непосредственно изображения? Если при этом не передавать высокие частоты, то на выходе системы после обратного преобразования в изображении пропали бы резкие границы между темными и светлыми частями изображения. Исследование физиологами свойств зрения показало, что сравнительно медленные изменения яркости экрана превращаются глазом в более быстрые, т. е. менее резкие переходы между черным и белым глаз превращает в более резкие. Это свойство зрения как будто бы позволяет получить тот же самый результат на выходе при передаче меньшего количества информации, а следовательно, и при меньшей ширине полосы частот. В конце 30-х годов появились работы, в которых описывался метод осуществления фурье-разложения и синтеза одномерных объектов с помощью масок. Однако метод масок за технику принимать нельзя, поскольку системы получаются очень громоздкими, дорогими и трудно осуществимыми. Если же обратится к голографии, то здесь как раз и осуществляется прямое и обратное преобразование Фурье. Если голографировать некоторый объект, скажем, транспарант, то в зависимости от угла, под которым падает на регистрирующую среду опорный пучок, мы получим то или иное преобразование частоты. Например, мы можем совсем исключить низкие пространственные частоты. Низкие частоты в обычной системе телевидения важны потому, что они отвечают за передачу медленных изменений освещенности по всему экрану, в то время как для голограммы низкие частоты вообще несущественны и могут отсутствовать полностью, т. е. мы переносим область частот на какой-то уровень и используем узкий диапазон частот. Подобная передача информации может представлять интерес потому, что пространственно-частотные характеристики приемных экранов могут зависеть, и на самом деле зависят, от пространственной частоты. Идея подобной передачи существует уже давно, но никто ее не осуществлял, так как отсутствовала техника осуществления указанного преобразования. Голография же позволяет это сделать. Таким образом, существует область применения голографии при передаче информации, когда выгодно производить преобразование пространственной частоты.

Вторым полезным свойством голографического метода является возможность использования всего двух градаций сигнала. Телевизионную передачу при отсутствии тонов смотреть будет практически невозможно, а изображение, восстановленное с голограммы, переданной всего двумя ступенями, будет полутоновым. Третьим свойством голографического метода, которое может оказаться полезным при использовании голографии в телевидении, является большой динамический диапазон.

Наконец, бывают такие случаи, когда нет необходимости иметь детальные сведения об объекте, скажем, когда речь идет о распознавании объектов. Существует ряд задач, когда необходимо опознать образ по некоторым общим признакам. В этом случае применение голографической методики может оказаться чрезвычайно полезным, например, при осуществлении космической связи. При передачах из космоса, с каких-либо космических станций мощность передатчика не может быть очень большой и, кроме того, имеют место очень сильные ослабления и искажения сигналов. Поэтому для выделения сигналов на фоне помех, шумов, приходится осуществлять многократное повторение передачи. Здесь голографический метод оказывается полезным благодаря свойству голограммы содержать в каждой своей точке информацию обо всем объекте в целом. При передаче, скажем, с орбитальной станции фотографии кратеров на Марсе или места посадки космического аппарата необходимо затратить

очень много времени, поскольку для получения требуемой информации необходимо передать весь кадр изображения. Если же передавать не изображение, а голограмму фотографии, то по мере поступления сигналов мы будем получать сведения обо всем объекте в целом, причем четкость восстанавливаемого изображения будет все время возрастать. Если мы убедимся в том, что поверхность не подходит для спуска космического аппарата, то мы прекратим передачу и канал связи будет свободен для следующей передачи. Или может оказаться, что переданные сведения достаточны для нас, а более подробные сведения можно будет получить позднее, когда канал связи не будет загружен передачей более важной информации.

Таким образом, голографические методы могут оказаться полезными и удобными в системах передачи информации благодаря перечисленным выше свойствам.

Первая работа, в которой описана передача по каналу связи голограммы транспаранта с надписью «Белл», была выполнена американцами. У нас аналогичная работа была проделана Клименко и Рукманом. В Ленинградском физико-техническом институте в лаборатории С. Б. Гуревича и в моей лаборатории была проведена совместная работа, касающаяся передачи голограмм по каналам связи.

Если мы хотим передать голограмму, содержащую то же количество информации, что и кадр телевизионного изображения или бланк фототелеграммы, то, поскольку при голографировании осуществляется преобразование пространственных частот, а именно смещение их в более высокочастотную область, нам придется использовать голограммы малого размера. При этом может оказаться необходимым увеличивать голограмму, чтобы существующие приборы смогли ее передать. Далее, после передачи по каналу связи можно осуществить восстановление, не меняя масштаба голограммы, что приведет к получению уменьшенного изображения, или, изменив масштаб, получить изображение первоначального размера.

Практически передача голограммы по какому-либо каналу связи осуществляется следующим образом. Сначала производится съемка фотоголограммы, после чего на ней выбирается подходящий участок. Этот участок с увеличением проецируют на экран, скажем, видикона или на бланк фототелеграммы. Затем осуществляется обычная передача. После приема изображения голограммы осуществляют изменение масштаба и восстановление изображения объекта.

Подобные операции были проделаны сначала в пределах института, а затем на линии фототелеграфной связи Ленинград — Москва и Ленинград — Москва — Ленинград. В лабораторных условиях голограммы передавались через замкнутую телевизионную систему и по замкнутому фототелеграфному каналу в режиме «черное — белое». Кроме того, передача моделировалась путем пересъемки голограмм на электрографическом копировальном аппарате в режиме, близком к двухградационному. Производилась передача следующих объектов: миры, применяемой для определения разрешающей способности оптических систем, полутонного транспаранта и диффузно рассеивающего объемного объекта.

Полученные результаты показали возможность передачи голограмм на большие расстояния по стандартным фототелеграфным каналам с восстановлением изображения перечисленных объектов на приемном конце. Установлена возможность использования для передачи голограмм каналов с ограниченным числом уровней сигнала и определены последствия потери информации в перечисленных системах, приводящие к ухудшению качества восстановленных изображений.

Таким образом, работы в этом направлении, кажущиеся довольно перспективными, ведутся, хотя ясно, что и здесь на пути практического применения голографического метода стоят большие трудности. Что же касается создания настоящего объемного голографического кино и телевидения, то эта задача кажется слишком трудной, и, вероятно, для получения достаточного впечатления объемности будет проще создавать системы типа бинокулярных, таких, которые С. М. Рытов охарактеризовал как «обманные». Примером возможности создания систем, обеспечивающих вполне достаточное пространственное восприятие, могут служить выпускаемые, например, в Японии стереоскопические открытки, которые можно рассматривать без всяких приспособлений. На открытках имеется несколько фотографий, выполненных под разными углами, что при применении растровой оптики, нанесенной непосредственно на открытку, позволяет наблюдателю явственно ощутить объемность изображенного пространства.
