

УДК 621.373.826:772.99

## О ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОЛОГРАММ НА СЕТЧАТКЕ В БЕЛОМ СВЕТЕ

**В.П. Титарь, Т.В. Богданова**

*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 4, пл. Свободы, Харьков, 61022, Украина*

E-mail: [inhol@ukr.net](mailto:inhol@ukr.net)

Поступила в редакцию 25 марта 2014 г.

Рассматривается вопрос о формировании голограмм на сетчатке в белом свете. Анализируется расфокусировка изображения, проецируемого хрусталиком человеческого глаза на сетчатку. Показано, что хрусталик проецирует на сетчатку не сфокусированное, а сильно расфокусированное изображение, то есть фактически пространственный спектр объекта. Обсуждается возможное происхождение опорной волны при регистрации комплексной голограммы на сетчатке за счет выделения части объектной волны, отраженной от "блестящей точки" при саккадических движениях глаз. Приведено краткое обоснование голографической модели зрения на основании данных психофизических и нейрофизиологических исследований, а также на основе анализа свойств оптической системы глаза.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** голография, зрительная система, сетчатка, расфокусировка изображения, опорная волна, белый свет.

Розглянуто питання про формування голограм на сітківці у білому світлі. Аналізується розфокусування зображення, яке проектується кришталіком ока людини на сітківку. Показано, що кришталік проектує на сітківку не сфокусоване, а сильно розфокусоване зображення, тобто фактично просторовий спектр об'єкту. Обговорюється можливе походження опорної хвилі під час реєстрації комплексної голограми на сітківці за рахунок виділення частини об'єктної хвилі, яка відбивається від "блискучої" точки під час саккадичних рухів очей. Наведено стисле обґрунтування голографічної моделі системи зору людини на основі даних психофізичних та нейрофізіологічних досліджень, а також на основі аналізу властивостей оптичної системи ока.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** голографія, система зору, розфокусування зображення, опорна хвиля, біле світло.

The question of the formation of holograms on the retina in white light is considered. Defocusing the image projected by the human crystalline lens onto the retina is analyzed. It is shown that the image, which the lens projects onto the retina, is out of focus, and it is heavily blurred image, that is actually the spatial spectrum of the object. The possible origin of the reference wave during registration complex hologram on the retina through the allocation of the object wave reflected from the "brilliant point" with saccadic eye movements is discussed. A brief justification of holographic model on the basis of psychophysical and neurophysiological studies, as well as on the basis of the analysis of the optical system of the eye, is given in the article.

**KEY WORDS:** holography, visual system, retina, defocusing of the image, reference wave, white light.

В работах [1–6] нами была предложена голографическая модель зрительной системы человека и на ее основе исследованы некоторые иллюзии зрения. Эта модель согласуется с голографической парадигмой строения Вселенной, выдвинутой Д. Бомом и К. Прибрамом на основании современных данных экспериментальных исследований [7–9]. В работах В.П. Титаря и О.В. Шпаченко [10–12] было показано, что строение оптической системы глаза, в особенности сетчатки, позволяет допускать возможность формирования на ней двумерной комплексной динамической голограммы наблюдаемого объемного объекта. В данной статье рассматривается принципиальная возможность формирования голограмм на сетчатке в белом свете. Показано, что хрусталик проецирует на сетчатку не сфокусированное, а сильно расфокусированное изображение, т.е. фактически пространственный спектр объекта. Приведено краткое обоснование голографической модели зрения на основании данных психофизических и нейрофизиологических исследований, а также на основе анализа свойств оптической системы глаза.

### РАСФОКУСИРОВКА ИЗОБРАЖЕНИЯ НА СЕТЧАТКЕ

Вопрос о расфокусировке изображения на сетчатке подробно рассмотрен В.М. Гинзбург в монографиях [13, 14]. В частности, метод расфокусировки используется в ее работах как средство получения обобщенного образа изображения на вводе в голографический коррелятор [13]. Предлагается также использовать расфокусировку для автоматизации ввода голографических изображений в ЭВМ и для сужения полосы пропускания телевизионных каналов [13].

Рассматривая работу зрительной системы человека, В.М. Гинзбург отмечает, что хрусталик постоянно расфокусирован относительно сетчатки на 0,2 – 0,25 дптр. [15]. Ею была выдвинута гипотеза о выделении

сетчаткой информативных фрагментов (ИФ) из расфокусированного изображения [16]. Эти ИФ в некоторой степени аналогичны тем "инвариантам", которые описаны у Дж. Гибсона [17] как основные элементы изображения, которые анализируются в высших отделах зрительной коры. Далее В.М. Гинзбург ссылается на работу Ван Матерена [18], в которой показано, что «для различных длин волн, в зависимости от угла зрения, область формирования изображения может «отставать» от сетчатки до 5...6 дптр.» [14]. В.М. Гинзбург отмечает, что в белом свете изображение формируется на разных длинах волн на различных расстояниях от сетчатки [14]. т.е фактически никакого, даже слабо сфокусированного изображения объекта, на сетчатке не формируется. Иными словами, для разных цветов изображение объекта расфокусировано по-разному, причем чрезвычайно большая величина такой расфокусировки не позволяет выделять ИФ в столь сложных изображениях [14]. В работе [1, стр. 188] В.М. Гинзбург прямо пишет, что "при расфокусировке хрусталика у поверхности сетчатки образуется комплексное распределение поля", и если бы с сетчатки в зрительную кору поступала информация не только об интенсивности, но и о фазе этого поля, то анализ такой информации был бы более полным. По существу, здесь идет речь о реальной возможности формирования на сетчатке голограммы, т.к. изображение на ней не фокусируется. Однако В.М. Гинзбург оставляет этот вопрос без ответа. Таким образом, глаз не может непосредственно на сетчатке сформировать совмещенное сфокусированное изображение одновременно на трех цветах. При рассмотрении объекта в белом свете совмещение его изображения на разных длинах волн, по-видимому, может быть объяснено только в рамках голографической гипотезы.

В работах авторов данной статьи по иллюзиям зрения [5, 6] также был рассмотрен вопрос о расфокусировке изображения на сетчатке и показана принципиальная возможность формирования на ней голограмм. В частности, было отмечено, что несовершенство оптической системы глаза [19] не дает возможности рассматривать его как аналог фотоаппарата, поскольку в формируемом глазом изображении наблюдаемого объекта возникают существенные искажения. При оценке преломляющих свойств глаза, по данным авторов работ [20–22], хрусталик не может фокусировать изображение на сетчатке. В этих работах было показано, что при цифровом моделировании с применением современных данных о показателях преломления оптической системы глаза сфокусированное изображение оказывается или позади сетчатки, или впереди нее.

Помимо несовершенства оптической системы глаза, в его светочувствительных слоях имеются различные неоднородности, которые являются помехой для получения неискаженного изображения на сетчатке [23]. При этом фоторецепторы глаза – колбочки и палочки – развернуты на  $180^\circ$  от направления потоков света, входящих через аперттуру хрусталика глаза.

Отсутствие существенных искажений при зрительном восприятии можно объяснить с помощью предлагаемой нами голографической модели, заключающейся в том, что на сетчатке глаза формируются не изображения, а распределения пространственных частот – фурье-образы наблюдаемых объектов, которые используются для регистрации комплексных голограмм Фурье. Хрусталик является линзой, преобразующей падающий на него световой поток [21, 22]. В соответствии с законами фурье-оптики [24], на сетчатке с точностью до фазовых коэффициентов формируется фурье-преобразование функции отражения объекта, находящегося в поле зрения человека. При формировании и регистрации такой пространственно-частотной структуры все слои сетчатки вносят свой вклад: преобразуют падающий на сетчатку свет, прошедший через хрусталик и стекловидное тело глаза, в виды оптических волн, необходимые для формирования комплексных голограмм Фурье; создают опорные световые колебания, а также регистрируют с их помощью квадратурные составляющие комплексной голограммы. При этом глаз можно рассматривать как совокупность комплексных оптических процессоров, преобразующих оптический сигнал на входе хрусталика в комплексную оптическую голограмму Фурье, которая регистрируется на сетчатке и передается в зрительную кору мозга для дальнейшей обработки [5, 6].

#### **ФОРМИРОВАНИЕ ОПОРНОЙ ВОЛНЫ В ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ**

В работе [25] отмечены 4 формы глазодвигательной активности:

1. Нистагм – периодическое последовательное чередование плавных и саккадических движений, направленное в противоположные стороны. Частота: от 0,25 до 6 Гц, амплитуда: от  $2^\circ$  до  $40^\circ$ .
2. Синусоидальные колебания низкой частоты (0,25 – 0,8 Гц) и большой амплитуды (до  $50-60^\circ$ ).
3. Медленные аperiodические повороты глаз. Скорость 1–20 град/сек. Длительность – несколько секунд.
4. Отдельные саккады с амплитудой до  $20-25^\circ$ , которые выражены наиболее ярко при произвольной смене объекта фиксации.

Таким образом, в процессе зрения глаз человека совершает так называемые «саккадические» (скачкообразные) движения, перемещая при этом точку фиксации взора по плоскости наблюдаемого объекта. Это соответствует операции «сканирования фазового центра» в локации. При этом в оптическую систему глаза поступают два оптических сигнала:

- поле, отраженное от точки фиксации взора (так называемая «блестящая» точка), которое содержит фазовую информацию о расстоянии до данного участка объекта;
- расфокусированное поле от окружающего эту точку участка объекта.

Первое поле может служить опорной волной (в модели с опорной волной, образуемой из части объектной) при формировании голограммы на сетчатке, а второе поле является объектным, поскольку несет амплитудно-фазовую информацию о протяженном участке объекта.

При устранении саккадических движений глаза относительно наблюдаемого объекта голограмма не формируется, т.к. не выделяется опорный сигнал. Из экспериментов известно, что при этом нарушается видимая картина мира. Целая серия работ [17, 26–33] показала, что при неизменной зрительной стимуляции сетчатки вообще нарушается процесс зрительного восприятия. Так, в работе [29] отмечено, что любая яркость света, действующая на сетчатку более 1 – 2 сек в условиях стабилизированного предъявления, не вызывает зрительных ощущений. Например, при искусственной стабилизации изображения на сетчатке [30] в опытах А.Л. Ярбуса испытуемый уже через 1 – 3 сек после начала опыта перестает видеть тест-объект, который остается невидимым во время всего опыта. При этом, по Ярбусу, наблюдается «пустое поле» – однородное, на нем неразличимы никакие детали. В экспериментах Гибсона [17, 31–33] человек волевым усилием фиксирует свой взгляд на произвольной точке, при этом через несколько секунд изображение меркнет, контуры объектов расплываются, исчезает глубина изображения. По Гибсону, «видимый мир» при этом превращается в «видимое поле».

### ФОРМИРОВАНИЕ ГОЛОГРАММ НА СЕТЧАТКЕ В БЕЛОМ СВЕТЕ

1. Формирование голограмм на сетчатке в белом свете аналогично:

1.1. Формированию цифровых голограмм с диффузором [34], по которым восстанавливаются изображения объектов как оптическим, так и цифровым методами. При этом изображения объектов становятся также «диффузными».

1.2. Формированию голограмм со случайными фазовыми помехами, при котором случайная фаза имеет равномерное распределение в заданных пределах.

Было произведено компьютерное моделирование и корреляционная обработка экспериментально полученных радиоголограмм Френеля и Фурье, сформированных в условиях фазовых помех. Результаты исследований сводятся к следующему [35, 36]:

- для значений случайной фазы  $\varphi_0$  в интервале  $[-0,6\pi; 0,6\pi]$  вероятность определения координат объектов корреляционным методом по цифровым моделям радиоголограмм Френеля близка к 1, что делает достоверными результаты, полученные с помощью непосредственного восстановления изображений;

- для значений  $0,6\pi < |\varphi_0| < 0,8\pi$  величина отношения сигнал/шум в корреляционном интеграле выше, чем соответствующая величина при непосредственном восстановлении изображений;

- в интервале значений  $|\varphi_0|$  от  $0,8\pi$  до  $0,99\pi$  корреляционный метод позволяет определять координаты объектов, зависящие от: размеров матрицы радиоголограммы; положения объекта на матрице, причем вероятность определения координат выше у объектов, расположенных ближе к началу координат; размеров объектов, хотя эта зависимость выражена слабее, чем две предыдущих.

- для значений  $|\varphi_0| > 0,99\pi$ , при которых отношение сигнал/шум в корреляционном интеграле имеет величину, меньшую или порядка 10, вероятность определения координат объектов всех типов близка к нулю.

Эти выводы были подтверждены результатами компьютерного моделирования многочастотных голограмм вращающихся объектов, сформированных в условиях фазовых помех [37]. Было получено, что предельное среднеквадратичное значение случайной фазы, при котором изображение точечного объекта еще выделяется из помех, равно  $\sigma_\varphi = 5\pi/6$ . Это хорошо согласуется с приведенными выше результатами.

2. Первые голограммы Габора и Денисюка также формировались в белом свете ртутной лампы, при этом получались как голограммы, так и восстановленные изображения [38–40].

3. Формирование Фурье-спектров в белом свете описано у Дж. Гудмена [41]. При этом дифракционная картина отличается от спектра, сформированного в монохроматическом свете, размытием дифракционных максимумов: вокруг каждого максимума имеется набор кружков.

4. В белом свете содержится набор квазимонохроматических волн, ненамного отличающихся по фазе, так что они могут интерферировать между собой. Оптическая система глаза (нервные волокна + колбочки) производят фильтрацию, выделяя только одну пару интерференционных картин (на двух взаимно ортогональных поляризациях) для каждого типа колбочек, регистрирующих сигнал в узкой полосе длин волн (красной, зеленой, синей).

5. Колбочки объединены в так называемые рецептивные поля [42], которые могут служить для усреднения уровня видеосигнала, компенсируя отсутствие монохроматичности и когерентности.

6. При фиксации взора происходит накопление сигнала, причем взгляд все время смещается, как бы «выискивая» наилучшие условия формирования интерференционной картины (см. статьи о движении глаз в сборнике [43])

### КРАТКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

1. Голографическая модель зрительной системы согласуется с голографической парадигмой Вселенной [7–9], которая основана на современных данных экспериментальных исследований.

2. Строение оптической системы глаза, в особенности сетчатки, позволяет рассматривать возможность формирования на ней комплексной двумерной динамической голограммы наблюдаемого объемного объекта:

2.1. Хрусталик проецирует на сетчатку "расфокусированное" изображение объекта, т.е. его пространственный спектр [13–16, 18, 20–22].

2.2. Слоистая структура сетчатки обеспечивает двулучепреломление падающего света и формирование двух квадратурных составляющих комплексной голограммы [10,11].

2.3. Опорной волной может служить часть объектной волны – поле, отраженное от точки фиксации взора в процессе саккадических движений глаза (так называемая "блестящая точка"), которое содержит фазовую информацию о расстоянии до данного участка объекта [25].

2.4. Подтверждением этой гипотезы может служить тот факт, что при отсутствии саккадических движений глаза по отношению к объекту нарушается видимая картина мира: голограмма не формируется из-за отсутствия опорного сигнала и, по Ярбусу, наблюдается "пустое поле" с "нулевым цветом", а по Гибсону, "видимый мир" превращается в "видимое поле" [17, 30–33].

2.5. Усреднение зрительного сигнала по локальным участкам сетчатки и даже по всей сетчатке может обеспечивать как увеличение динамического диапазона глаза [42], так и формирование голограммы с четкой интерференционной картиной, с устранением постоянной составляющей. При формировании изображения такое усреднение привело бы к еще большей его "расфокусировке", т.е. размытости.

2.6. Оконтуривание изображений и другие эффекты, наблюдаемые при различных иллюзиях зрения, могут быть объяснены неравномерным расположением фоторецепторов сетчатки [1–6].

3. Из результатов психофизических исследований следует, что зрительная система осуществляет полосовую фильтрацию зрительного сигнала в пространственно-частотной области [44, 45]. Это можно объяснить, если предположить, что такая фильтрация происходит вследствие регистрации пространственного спектра объекта, т.е. его голограммы Фурье, на неравномерно расположенных фоторецепторах сетчатки, как и при иллюзиях зрения.

4. Нейрофизиологические исследования показывают, что колонки нейронов зрительной коры осуществляют Фурье-преобразование поступающих сигналов [42], что хорошо вписывается в голографическую модель.

5. Двумерная структура сетчатки не может обеспечивать формирование на ней реального трехмерного изображения наблюдаемого объекта, тогда как по зарегистрированной на сетчатке двумерной голограмме имеется принципиальная возможность восстановления изображения объемного объекта с вынесением этого изображения во внешнее пространство.

6. Вынесение изображения наблюдаемого объекта во внешнее пространство и совмещение этого изображения с объектом [19, 46] может быть объяснено только восстановлением этого изображения по сформированной на сетчатке динамической голограмме по принципу обращения волнового фронта [12].

7. Перцептивная перспектива (по Б.В. Раушенбаху [47, 48]) также может быть объяснена только свойствами изображений, сформированных и восстанавливаемых в различных зонах дифракции.

### ВЫВОДЫ

В разрабатываемой нами модели голографического зрения учтено следующее.

1. Согласно теории экологической оптики Гибсона [17], зрительная информация, воспринимаемая глазом человека и передаваемая для дальнейшей обработки в мозг, представляет собой не изображение предмета, а так называемый «объемлющий свет» («стимул»), используемый для выделения инвариантов при распознавании предмета. В соответствии с голографической гипотезой, таким «стимулом» может служить формируемая оптической системой глаза дифракционная картина, которая регистрируется фоторецепторами сетчатки в виде голограммы. Таким образом, зрительные рецепторы сетчатки регистрируют не распределение интенсивности падающего света, а две квадратурные составляющие пространственного спектра [1–6, 10, 11, 49].

2. Формирование комплексной голограммы на сетчатке производится в соответствии с голографической моделью физиологической оптики [10 – 12, 50].

3. Обработка зрительной информации происходит в соответствии с известной блок-схемой системы зрения человека [45]. Кроме того, наша модель также включает усреднение сигнала по сетчатке с вычитанием среднего значения из зрительного сигнала, что как отмечено выше, соответствует выводам, сделанным в работе В.Д. Глезера [42].

4. Пространственно-частотная фильтрация производится с помощью алгоритма дискретной пространственной фильтрации, разработанной исполнителями ранее в работах [51, 52].

5. Логарифмическая обработка квадратурных составляющих пространственного спектра в зрительной системе и получение по ним изображения могут быть описаны с помощью комплексного кепстрального анализа [53, 54].

Полученные в соответствии с данной моделью результаты компьютерного моделирования [4] соответствуют инвариантам Гибсона [17]. Дальнейшая обработка зрительной информации может быть произведена как в высших отделах зрительной коры, так и при обратной передаче сигнала из коры на сетчатку глаза, с вынесением изображения во внешнее пространство в соответствии с принципом соотношенности по Сеченову [19, 46]. Механизм такого вынесения изображения также может быть объяснен с учетом голографической модели системы зрения: в слоях сетчатки формируется динамическая голограмма [12], которая обеспечивает обращение волнового фронта и совмещение изображения с формой наблюдаемого объекта. Предлагаемая модель может быть использована как для построения новых систем диагностики заболеваний глаза, так и для создания систем регистрации и обработки электромагнитных полей [55], в частности, для систем голографического телевидения [56, 57].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова Т.В. Моделирование иллюзий при восстановлении изображений по голограммам / Т.В.Богданова, Г.С. Сафронов, М.Т. Торкатюк // "Оптическое изображение и регистрирующие среды": всесоюз. конф.: тезисы докл. – Л.: ГОИ, 1982. – С.134.
2. Сафронов Г.С. Оконтуривание изображений при сокращении избыточности голографической информации / Г.С. Сафронов, Т.В. Богданова, В.П. Титарь, М.Т. Торкатюк // V Всесоюз. школы по оптической обработке информации: тезисы докл. – Киев, 1984. – С.142–143.
3. Сафронов Г.С. Оконтуривание изображений при сокращении избыточности в телевизионных голографических системах / Г.С. Сафронов, Т.В. Богданова, В.П. Титарь, М.Т. Торкатюк // "Сокращение избыточности в цифровых телевизионных системах": – всесоюз. симп.: тезисы докл. – Тбилиси, 1983. – С.82–83.
4. Богданова Т.В. Использование особенностей системы зрения человека в Фурье-голографии / Т.В.Богданова, Г.С. Сафронов, В.П. Титарь // "Зрение организмов и роботов": – всесоюз. симп.: тезисы докл. – Вильнюс, 1985. – Т. II. – С.32–33.
5. Титарь В.П. Голографическая модель иллюзий зрения / В.П. Титарь, Т.В. Богданова, М.Т. Торкатюк // Вестник Международного Славянского Университета. – 2000. – Т. 3. № 3. – С. 40–45.
6. Титарь В.П. Иллюзии зрения: интерпретация в рамках голографической модели / В.П. Титарь, Т.В.Богданова, М.Т. Торкатюк // Оптика и спектроскопия. – 2002. – Т. 93. № 4. – С.686–693.
7. Bohm D. Wholeness and the Implicate Order / D. Bohm. – L.: Routledge and Kegan Paul, 1980. – 280 p.
8. Прибрам К. Языки мозга: пер. с англ. / К. Прибрам. – М.: Прогресс, 1975. – 467 с.
9. Pribram K. Holonomy and Structure in the Organization of Perception. // In: John M Nicholas (Hrsg.): Images, Perception, and Knowledge. – 1977. – P. 155–185.
10. Титарь В.П. Голографическая модель физиологической оптики / В.П.Титарь, О.В.Шпаченко // Вісник Харківського національного університету. Серія: Радіофізика та електроніка.–2000.– Вип. 1, № 467.–С.46-55.
11. Титарь В.П. Формирование комплексных Фурье-голограмм интенсивности на сетчатке глаза / В.П. Титарь, О.В. Шпаченко // Вісник Харківського національного університету. Серія: Радіофізика та електроніка. – 2004. – Вип. 1, № 622. – С. 136-141.
12. Титарь В. П. Нелинейная модель физиологической оптики / В. П. Титарь // «Сучасні проблеми науки і освіти»: матеріали конференції : 26 квітня – 05 травня 2013 р, м. Одеса. – Харків. – 2013. – С. 136–140.
13. Гинзбург В.М. Голографические измерения / В.М.Гинзбург, Б.М.Степанов.– М.: Радио и связь, 1981.– 296 с.
14. Гинзбург В.М. Формирование и обработка изображений в реальном времени / В.М. Гинзбург. – М.: Радио и связь, 1986. – 232 с.
15. Campbell F.W. Dynamics of accommodation responses of the Human eye / F.W. Campbell, G. Westheimer // *Physiol. (Eng.)*. – 1960. – V. 151. № 2. – P. 285–296.
16. Гинзбург В.М. Расфокусировка как средство выделения информативных фрагментов на уровне сетчатки / В.М. Гинзбург, Г.Г. Левин, А.Н. Метелкин // ДАН СССР. – 1974. – Т. 219. № 3. – С. 734–737.
17. Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию / Дж. Гибсон. – М.: Прогресс, 1988. – 464 с.
18. Van Muterer A. Calculations on Optic Modulation Transfer Funktion of the Human Eye for White Light / A. Van Muterer // *Optica Acta*. – 1974. – V. 21. № 5. – P. 395–403.
19. Луизов А.В. Глаз и свет / А. В. Луизов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. – 144 с.
20. Корец Дж.Ф., Хандельман Дж.Х. Как фокусирует человеческий глаз // В мире науки. 1988.– № 9.–С.58–66.
21. Koretz J.F. Analysis of human crystalline lens curvature as a function of accommodative state and age / J.F. Koretz, G.H. Handelman, N.P. Brown // *Vision Research*. – 1984. – V. 24. № 10. – P. 1141–1151.
22. Koretz J.F. Modeling age-related accommodative loss on the human eye / J.F. Koretz, G.H. Handelman // *Mathematical modelling*. – 1986. – V.7. – P. 1003–1014.
23. Вавилов С.И. Глаз и Солнце (О свете, Солнце и зрении) / С.И. Вавилов. – М.: Наука, 1981. – 128 с.
24. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику: пер. с англ. / Дж Гудмен. – М.: Мир, 1970. – 364 с.
25. Барабанщиков В.А. Взаимосвязь движений глаз и зрительного восприятия: новый методологический подход / В.А. Барабанщиков // В кн. : Психология восприятия. Материалы советско-норвежского симпозиума. – М.: Наука, 1989. – С. 14–27.

26. Андреева Е.А., Вергилес Н.Ю. О механизмах движений глаз в процессе зрительного восприятия // В кн. : Моторные компоненты зрения, – М. : Медицина, 1975. – С. 3–55.
27. Андреева Е.А., Вергилес Н.Ю., Ломов Б.Ф. К вопросу о функциях движений глаз в процессе зрительного восприятия // Вопросы психологии, 1972. – № 1. – С. 11–25.
28. Вергилес Н.Ю., Андреева Е.А. Метод стабилизации изображения относительно сетчатки и проблема порогов зрительной чувствительности // Сенсорные процессы и восприятие. – М.: 1972. – С. 65 – 71.
29. Вергилес Н.Ю., Андреева Е.А. Исследование перестройки уровней глазодвигательной системы в процессе восприятия // В кн. : Психология восприятия. Материалы советско-норвежского симпозиума. – М.: Наука, 1989. – С.70–84.
30. Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения / А.Л. Ярбус. – М.: Наука, 1965. – 166 с.
31. Gibson E.J. The Senses Considered as Perceptual Systems / E.J.Gibson. – Boston: Houghton. Mifflin Company, 1966. – 335 pp.
32. Gibson E.J. The ecological approach to visual perception, / E.J.Gibson. – Boston: Houghton. Mifflin Company, 1979. – 440 pp.
33. Gibson E.J., Spelke E.S. The development of perception / Ed. J.H. Flavell, E.M. Markman // Handb. Child's Psychol. – 1976, – V. 3, № 4, – P. 157–172.
34. Федоров Б.Ф. Цифровая голография / Б.Ф. Федоров, Р.П. Эльман. – М.: Наука, 1975. – 152 с.
35. Богданова Т.В. Определение координат объектов по корреляционным интегралам дискретных радиоголограмм Френеля // Труды IV Всесоюзной конференции по голографии. – Ереван: ВНИИРИ, 1982. – Т.1. – С. 295–299.
36. Сафронов Г.С. Корреляционная обработка радиоголограмм Френеля / Г.С. Сафронов, Т.В. Богданова, М.Т.Торкатюк, В.М. Рула, В.И. Холодов, В.И. Назаров // "Формирование оптического изображения и методы его коррекции": всесоюзн. конф.: тезисы докл. – Могилев, 1979. – С. 120 – 121.
37. Богданова Т.В., Титарь В.П., Томчук Е.Я. Синтезирование многочастотных оптических голограмм вращающихся объектов // Оптика и спектроскопия. – 2002. – Т. 92. № 5. – С. 876–879.
38. Gabor D. A New Microscopic Principle / D. Gabor // Nature (London) – 1948. – V.161. – P. 777.
39. Gabor D. Microscopy by Reconstructed Wave-Fronts /D.Gabor// Proc.Roy.Soc.(London).–1949.–V.197A.– P.454.
40. Денисюк Ю. Н. Об отображении оптических свойств объектов в волновом фронте рассеянного им излучения / Ю. Н. Денисюк // ДАН СССР. – 1962. – Т. 44. – С. 1275.
41. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику: пер. с англ. / Дж Гудмен. – М.: Мир, 1970. – 364 с.
42. Глезер В.Д. Зрение и мышление / В.Д. Глезер. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние. 1985. – 246 с.
43. Психология восприятия. Материалы советско-норвежского симпозиума. – М.: Наука, 1989. – 197 с.
44. Хант Б. Р. Цифровая обработка изображения / Б. Р. Хант // ТИИЭР. – 1975. – Т. 63. № 4. – С. 177–195.
45. Хант Б. Р. Цифровая обработка изображений / Б. Р. Хант / В кн. : Применение цифровой обработки сигналов: пер. с англ. / под ред. Э. Опенгейма. – М. : Мир, 1980. – С. 197–267.
46. Сеченов И.М. Избранные произведения. Т.П. Физиология нервной системы / И.М. Сеченов. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 944 с.
47. Раушенбах Б.В. Пространственные построения в древнерусской живописи / Б.В. Раушенбах – М. : Наука, 1975 – 184 с.
48. Прокофьев В.Н. О «перцептивной перспективе» и перспективах в живописи / В.Н. Прокофьев. – В кн.: Раушенбах Б.В. Пространственные построения в древнерусской живописи. – М. : Наука, 1975. – С. 170–183.
49. Богданова Т. В. Оптические комплексные голограммы / Т. В. Богданова, В. П. Титарь // Оптический журнал. – 2004. – Т. 71, № 5. – С. 37-46.
50. Титарь В.П. Моделирование макулярных поляризационных эффектов в рамках голографической модели физиологической оптики / В.П. Титарь. О.В. Шпаченко // Прикладная радиоэлектроника. – 2009. – Т. 8, № 1. – С. 53–61.
51. Богданова Т.В. Применение комплексных голограмм, зарегистрированных на квазипериодических решетках, для распознавания материалов плоских металлических объектов / Т.В. Богданова, Н.Д. Гернет, В.П. Титарь // Радиотехника и электроника. – 1998. – Т. 43, № 8. – С. 966 – 972.
52. Титарь В.П. Пространственная фильтрация с помощью дискретной неэквидистантной решетки / В.П.Титарь, Т.В. Богданова // Вісник Харків. ун-ту. – 1999. – № 423. Сер. “Радіофізика та електроніка”. №1’99. – С. 183–193.
53. Оппенхейм А.П. Нелинейная фильтрация сигналов, представленных в виде произведения и свертки / А.П.Оппенхейм, Р.С. Шефер Р.С., Т.С. Стокхем // ТИИЭР. – 1968. – Т.56. № 8. – С.5–34.
54. Чайлдс Д.Дж. Кепстр и его применение при обработке данных. Обзор / Д.Дж. Чайлдс, Д.П. Скиннер, Р.Ч. Кемерейт // ТИИЭР. – 1977. – Т. 65, № 10. – С. 5–23.
55. Титарь В.П. Построение голографических антенных решеток СВЧ с учетом психофизических свойств зрения / В.П. Титарь, Т.В. Богданова // "Теория и техника антенн": МККТА'95, 21 – 23 ноября 1995 г., Харьков, Украина : тез. докл. Мжесдународной конф. – Харьков, 1995. – С. 29.
56. Титарь В.П. Проблемы создания голографической телевизионной системы / В.П. Титарь, Т.В.Богданова // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 2. – С. 38–42.
57. Титарь В.П. Оптические синтезированные апертуры в голографических телевизионных системах / В.П.Титарь // Вісник Харківського національного університету. Серія: Радіофізика та електроніка. – 2011. – Вип. 18, № 966.– С. 56–67.