

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. Ломоносова**

Факультет психологии

На правах рукописи

МЕЩЕРЯКОВ Борис Гурьевич

**ВРЕМЕННАЯ СУММАЦИЯ
ЗРИТЕЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Специальность № 19.00.01 – общая психология

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата психологических наук**

Москва - 1983

Работа выполнена на кафедре общей психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель – кандидат психологических наук, старший научный сотрудник А.И. Назаров.

Официальные оппоненты:

доктор психологических наук, профессор Ю.М. Забродин,
кандидат психологических наук, доцент Ю.К. Стрелков.

Ведущее учреждение – Научно-исследовательский институт общей и педагогической психологии АПН СССР.

Автореферат разослан " " 1983 г.

Защита состоится " " 1983 г. в "....." часов на заседании специализированного ученого совета К 063.05.74 в МГУ по адресу: Москва, К-9, проспект Маркса, 18, корп. 5, ауд. 51.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке факультета психологии МГУ.

Ученый секретарь совета

кандидат психологических наук В.Я. Романов

Актуальность проблемы. Понятие "зрительной временной суммации" (ЗВС) играет важную роль в теоретическом понимании механизмов многих зрительных явлений, таких, например, как маскировка, слияние мельканий, смазывание движущихся объектов, стробоскопическое движение, темновая адаптация, и есть причины считать его одним из фундаментальных принципов теории зрительного восприятия. Актуальность исследований ЗВС следует также из того, что они по самой своей сути являются составной частью процессуально-динамического подхода к ощущениям и восприятию. Кроме того, без понятия ЗВС нельзя объяснить, каким образом происходит передача человеку визуальной информации с помощью кино, телевидения и ряда других внешних средств организации человеческой деятельности. Ясно, что изучение ЗВС имеет не только большое теоретическое, но и прикладное значение. Вполне естественно и актуально поэтому обратить внимание на не исследованные характеристики процесса ЗВС. При этом необходимо учитывать те новые задачи, которые вытекают из общих тенденций развития современной психологии и психофизики восприятия. Исходя из этих тенденций, наиболее актуальной задачей следует считать задачу применения комплексного подхода, направленного на достижение единства изучения, во-первых, сенсорных и перцептивных компонентов ЗВС, во-вторых, пространственных и временных характеристик процесса ЗВС.

Хотя проблема ЗВС является одной из самых старых в психофизике зрения, многие ее аспекты до сих пор остаются без теоретической и экспериментальной разработки. Серьезное беспокойство вызывает и отсутствие обзорных работ, анализирующих современное состояние этой фундаментальной проблемы.

До недавнего времени при исследовании ЗВС применялись главным образом пространственно гомогенные пятна света, причем наиболее оптимальными для теоретического анализа считались пятна, имеющие точечные размеры (Shallice, 1967). Это вело к обеднению экспериментальных данных о ЗВС и допускало возможность упрощенного рассмотрения ЗВС как локального и одномерного процесса, вся динамика которого разворачивается только во времени. Не случайно пространственно гомогенные пятна света принято называть просто "вспышками", а не "изображениями". При таком подходе, абстрагирующемся от пространственных свойств и стимула, и самого процесса ЗВС, проблема пространственной организации ЗВС даже и не ставилась, а проблема ЗВС изображений не получила заслуженного внимания.

Однако и в последние годы, когда в исследованиях стали применяться разнообразные по временной и пространственной структуре изображения, принципиальных изменений по сравнению с прошлым состоянием проблемы изучения ЗВС не произошло, так как, во-первых, новые методы часто не подкрепляются необходимым теоретическим и модельным обоснованием и поэтому оказываются малоинформативными, допускают множество интерпретаций и произвольных толкований (напр., Eriksen, Collins, 1967, 1968; Hogben, Di Lollo, 1974), во-вторых, многие из тех работ, в которых для исследования ЗВС использовались сложные изображения, ограничивались копированием методик традиционного типа и постановкой традиционных вопросов, например, о диапазоне длительностей, для которого выполняется закон Блоха (Kahneman, 1964; Kahneman, Norman, 1964), в-третьих, немало и таких работ, в которых анализ самой ЗВС играет второстепенную роль по отношению к другим задачам, в частности, задаче различения физических и тонических каналов (Breitmeyer, Ganz, 1977; Legge, 1978; Watson, Nachmias, 1977; и др.) или задаче различения механизмов детекции мельканий и движения (Green, Blake, 1981). Сам факт использования методов, разработанных для изучения ЗВС, в задачах, выходящих за пределы проблемы ЗВС, закономерен и заслуживает положительной оценки, но он же предъявляет и высокие требования к этим методам, к их теоретическому обоснованию. В общем, существует большое количество неясных вопросов как в понимании механизмов и явлений ЗВС, так и в теоретическом обосновании методов их исследования. Тем не менее, как уже отмечалось, глубокий анализ этих вопросов никем не проводился.

Главная цель данной работы заключалась в том, чтобы (1) составить представление о наиболее актуальных проблемах исследования ЗВС, (2) разработать методический подход к решению этих проблем, (3) продемонстрировать его эффективность на материале собственных экспериментальных исследований.

В процессе работы указанные три стороны главной цели конкретизировались в следующих основных задачах: (1) представить обсуждение актуальных проблем исследований ЗВС, (2) сформулировать на этой основе теоретическую гипотезу о структуре и компонентах механизма ЗВС, (3) разработать методический подход к проверке предложенной гипотезы, (4) дать теоретическую интерпретацию модели энергетического детектора, (5) разработать математическое

приложение модели энергетического детектора к описанию результатов измерения контрастных порогов обнаружения синусоидальных решеток с произвольным фазовым сдвигом при их последовательном двухкратном предъявлении, (6) проверить гипотезу полной ЗВС, используя для этого метод двухкратной экспозиции синусоидальной решетки, (7) исследовать пространственно-временные условия и феноменологические характеристики нового класса стробокинетических эффектов, обнаруженных при последовательной экспозиции двух гетерофазных синусоидальных решеток, (8) построить математическую модель ЗВС, имитирующую эти стробокинетические эффекты, (9) провести экспериментальное исследование ЗВС в условиях экспозиции стимулов во время саккадических движений глаз, (10) осуществить сравнение саккадической и фиксационной ЗВС. Представленные в диссертации результаты решения перечисленных задач и выносятся на защиту.

Новизна работы. В диссертации впервые систематически исследуются контрастные пороги обнаружения и феноменологические проявления последовательной парной экспозиции синусоидальных решеток при различных пространственных фазовых сдвигах и интерстимульных интервалах. Впервые дается теоретическое и модельное обоснование возможности использования регистрируемых в указанных стимульных условиях контрастных порогов и феноменологических отчетов испытуемых в качестве эффективного метода изучения ЗВС, названного "методом фазового сдвига" (МФС).

Кроме того, в работе впервые (1) сформулирована гипотеза о ЗВС как составном процессе, включающем наряду с пассивно-инерциальным звеном, также и подпроцесс целенаправленного временного интегрирования с динамической пространственной локализацией, (2) представлено обсуждение проблемы определения понятия ЗВС, проблемы структуры ЗВС и методов изучения компонентов ЗВС, проблемы пространственной организации ЗВС, проблемы саккадической ЗВС, (3) разработано понятие "принципов пространственной организации ЗВС", (4) предложены две количественные модели, описывающие влияние фазового сдвига на контрастные пороги, (8) обнаружен и исследован новый класс стробокинетических эффектов, названный "суммакинезом", (6) разработана имитационная модель суммакинеза, (7) изучалась ЗВС при экспозиции стимулов во время саккадических движений глаз, (8) обосновано и продемонстрировано применение суммакинеза в качестве феноменологического индикатора ЗВС.

Практическое значение работы определяется возможностью использования полученных данных и предложенных моделей для разработке новых и обосновании существующих дискретных систем передачи зрительной информации, получателем которой является человек, а также в учебных пособиях по зрительному восприятию. Несомненно, полезным окажется использование суммакинеза в дальнейших исследованиях ЗВС в качестве простого феноменологического индикатора ЗВС. Результаты работы использовались в отчетах по хоздоговорной теме.

Апробация работы. Диссертация обсуждалась на заседании проблемной лаборатории восприятия факультета психологии Московского государственного университета и заседании кафедры общей психологии факультета психологии того же университета.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатные работы с общим объемом 3,1 печатного листа.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из предисловия, пяти глав, заключения, библиографического указателя и математического приложения. Диссертация содержит 175 страниц машинописного текста, 11 таблиц и 18 рисунков, имея общий объем 195 страниц. Список литературы насчитывает 160 названий.

На основе теоретического анализа широкого круга психофизических исследований ЗВС было выделено шесть наиболее актуальных проблем, обсуждению которых посвящена первая глава диссертации. Выделенные проблемы сформулированы следующим образом: (1) проблема определения понятия ЗВС, (2) проблема структуры ЗВС, (3) проблема методов изучения компонентов ЗВС, (4) проблема пространственной организации ЗВС, (5) проблема саккадической ЗВС, (6) проблема эмпирических и теоретических оснований закона Блоха как частного случая закона полной ЗВС.

После безуспешных попыток найти в психофизической литературе сколько-нибудь полное и обоснованное определение ЗВС автор поставил цель разобраться в трудностях, связанных с определением этого понятия. Опираясь на экспериментальный и теоретический контекст, в котором используется термин ЗВС, и анализ существующих эмпирических показателей ЗВС, дается доказательство невозможности чисто операционального определения ЗВС, непротиворечивым образом удовлетворяющего разнообразным экспериментальным процедурам. В качестве вывода делается утверждение, что понятие ЗВС дол-

жно формулироваться как фундаментальное понятие, для определения которого необходимо построение общей теории или хотя бы теоретической гипотезы о механизмах ЗВС. С этой точки зрения рассматривается несколько типичных примеров определений ЗВС и отмечаются их недостатки. Явно несостоятельными являются операциональные определения. Как правило, они не дифференцируют явления ЗВС от более широкого класса явлений, показывающих влияние временных факторов стимуляции на выполнение перцептивных задач, и, кроме того, оказываются слишком узкими, чтобы включить все явления относящиеся к традиционному кругу явлений ЗВС. Имеется также группа определений, в которых ЗВС представляется как процесс суммации сенсорных аффектов, возникающих в зрительной системе в ответ на распределенную во времени световую энергию. Неудовлетворительность такого рода определений заключается в том, что ЗВС рассматривается в них исключительно как энергозависимый процесс, исчерпывающийся закономерностями сенсорного типа. Ставится под сомнение, что данное определение подходит ко всем явлениям ЗВС, поскольку можно предполагать, что многие пороговые зависимости, традиционно выступавшие в качестве операционального критерия ЗВС, не могут быть сведены к закономерностям сенсорного типа. Основываясь на различении понятий сенсорного эффекта и перцептивного признака, допускается наряду с процессом суммации сенсорных эффектов существование и процесса суммации перцептивных признаков. В порядке рабочей гипотезы предлагается понимать под ЗВС процесс формирования перцептивного признака, величина которого представляет сумму или интеграл по времени от конкретного параметра стимула. В частном случае энергетической ЗВС такими параметрами могут быть яркость, яркостный контраст и другие абсолютные или относительные энергетические характеристики светового стимула. Рассмотрение ЗВС как процесса формирования перцептивного признака не противоречит ее рассмотрению как процесса суммации сенсорных эффектов, поскольку формирование перцептивного признака включает в себя процесс суммации сенсорных эффектов как один из этапов или компонентов.

Далее это определение углубляется при обсуждении проблемы структуры ЗВС в рамках гипотезы двухкомпонентного механизма ЗВС. Обсуждение этой проблемы опирается на несколько источников: представление о двухкомпонентной структуре зрительных механизмов, развиваемое в работах советских психологов (Гиппенрейтер, Забродин, Зинченко, Ломов и др.); концепция многоуровневой временной интеграции (Blumenthal, 1977);

дискуссия по проблеме периферических и центральных механизмов ЗВС; модели процессов обнаружения и дискриминации, использующие идеи интегрального метода приема сигналов (Link, 1978; Swets, Green, 1961; Vickers, 1978). Используя эти источники, делается попытка выделить и детально описать два компонента механизма ЗВС, обращая особое внимание на функциональные характеристики каждого из компонентов и методы их изучения. В результате формулируется гипотеза, согласно которой в пороговых ситуациях процесс ЗВС одновременно включает два компонента – процесс инерциальной и процесс оперативной ЗВС, обладающих до некоторой степени противоположными характеристиками, относящихся к их организации и механизму, но с точки зрения формального описания являющихся суммационными процессами. Инерциальная ЗВС характеризуется жесткой или безусловной детерминированностью энергетическими аспектами стимуляции, причинной независимостью от субъекта наблюдения, его задач, целей, установок и пр., локально-параллельной пространственной организацией, временным интервалом суммации динамических следовых эффектов последовательно предъявляемых стимулов. Оперативная ЗВС характеризуется подчиненностью задаче наблюдателя, адаптивностью по отношению к текущим условиям ее решения, операциональным статусом в составе зрительного действия, переменными временными константами, динамической локально-сфокусированной пространственной организацией, направленностью на целевые аспекты стимула, не обязательно энергетические. Временной интервал инерциальной ЗВС может быть приблизительно оценен, например, с помощью методов идентификации букв или локализации пропущенной точки при распределенном во времени предъявлении элементов тестового изображения (Eriksen, Collins, 1967, 1968; Hogben, Di Lollo, 1974). Оба метода, однако, не позволяют определить временную динамику сенсорной суперпозиции последовательно предъявляемых изображений, поскольку неизвестно, в какой функциональной зависимости находятся регистрируемые показатели деятельности испытуемого от характеристик суммарного следового образа. Особенно явно неэффективность данных методов выступает в том, что получаемые результаты в равной мере объясняются как гипотезой угасающих следовых образов, так и гипотезой дискретных психологических (перцептивных) моментов. Отсюда делается вывод о необходимости разработки более строгих и информативных методов. Одной из задач настоящей работы как раз и было создание такого метода исследования инерциальной ЗВС.

Так как предполагается, что в пороговых ситуациях функционируют два компонента ЗВС, то результаты пороговых экспериментов не позволяют прямо перейти к характеристике механизмов ЗВС. По этой причине ставятся под сомнение известные "сенсорные" интерпретации критической длительности (параметра закона Блоха). В этих условиях необходимым средством связи экспериментальных данных с выводами о механизмах должна являться математическая модель. Из предложенных в литературе моделей ЗВС с гипотезой двухкомпонентного механизма согласуются две — математическая модель энергетического детектора (Rashbass, 1970) и концептуальная модель Т. Уно (Ueno, 1976). Ставится задача распространить модель энергетического детектора на описание результатов измерения контрастных порогов в ситуации обнаружения двух последовательно предъявляемых с некоторым интерстимульным интервалом и произвольным фазовым сдвигом синусоидальных решеток.

Практически совершенно неизученной характеристикой процессов ЗВС является их пространственная организация. Операционально эта проблема сводится к вопросу, каким способом должны быть распределены стимулы в пространстве, чтобы они производили ЗВС. С теоретической точки зрения вероятными являются три способа: по принципу принадлежности следовых эффектов идентичным объектам-стимулам независимо от их пространственного положения (принцип идентичности объекта), по принципу идентичности пространственного положения объектов в координатах внешнего пространства (принцип позиционной константности), по принципу идентичности пространственного положения стимулов в координатах сетчатки (ретинотопический принцип). Последние два принципа указывают правило локализации стимулов, следы которых участвуют в общей сенсорной или перцептивной суперпозиции. Отмечается, что разные компоненты ЗВС могут подчиняться разным принципам, причем наиболее вероятным принципом пространственной организации инерциальной ЗВС является ретинотопический принцип, однако этот вопрос должен быть исследован экспериментально. К сожалению, классические представления о ЗВС и методы ее исследования мало способствуют проверке этих принципов, так как во-первых, в представлениях о ЗВС отсутствует идея ее структурной сложности, и, во-вторых, классический метод изучения ЗВС не исключает ни одного из факторов, стоящих за перечисленными принципами.

Далее описываются идеи, положенные в основу экспериментального исследования принципов пространственной организации. Для проверки принципа ретинотопической организации инерциальной ЗВС

предлагается использовать результаты сравнения характеристик ЗВС этого типа в двух условиях экспозиции стимулов: в условиях фиксации и в условиях саккадических движений глаз. Для изучения принципов пространственной организации оперативной ЗВС предполагается использовать результаты сравнения точности предсказаний, даваемых двумя вариантами модели энергетического детектора – модели неподвижного интегратора и модели следящего интегратора, – для измерений контрастных порогов обнаружения гетерофазных пар синусоидальных решеток. Модель следящего интегратора предполагает, что в процессе обнаружения происходит интегрирование (феноменально) перемещающегося локального максимума видимой яркости, который в данном случае является тем "объектообразующим" перцептивным признаком, на который нацелен, или сфокусирован, интегратор. Поэтому подтверждение модели следящего интегратора означало бы подтверждение принципа идентичности объекта.

Интерес к данным о процессах ЗВС в условиях экспозиции стимулов во время саккадических движений глаз вызывается не только возможностью их использования для решения проблемы пространственной организации ЗВС. Данные о саккадической ЗВС могли бы быть полезны для выяснения механизмов саккадического подавления и феномена стабильности видимого мира. Поэтому отсутствие каких-либо исследований саккадической ЗВС в прошлом представляется очевидным упущением, для устранения которого автором проведено три эксперимента, излагаемых в пятой главе.

Само обсуждение валидности закона Блоха и тем более квалификация этой проблемы в качестве актуальной может вызвать возражения. С одной стороны, уже не раз высказывались сомнения в справедливости этого закона и не раз отмечалось отсутствие объяснения для него. С другой стороны, в литературе преобладает точка зрения, что закон Блоха является хорошо установленным фактом, имеющим к тому же большое теоретическое значение. Помимо того, что он выдвигается как бесспорное доказательство процесса ЗВС, с его помощью обосновывают (1) утверждение о том, что временная микроструктура стимула не отражается в сенсорном процессе, и (2) идею о дискретной организации перцептивного времени. Однако именно то, что закону Блоха придают большое теоретическое значение, и делает проблему его обоснования особенно актуальной. В обсуждении приводятся данные, показывающие, что закон Блоха не имеет ни универсального эмпирического подтверждения, ни удовлетворительной теоретической интерпретации. Следует отметить несколько нетрадиционное рассмотрение закона Блоха

как частного случая закона полной ЗВС. Здесь же рассматривается вопрос о применимости понятия полной ЗВС к результатам, получаемым с помощью методики двухкратной экспозиции синусоидальных решеток. По отношению к этой методике понятие полной ЗВС конкретизируется в виде следующего операционального критерия: при последовательном во времени предъявлении двух стимулов результат восприятия должен быть таким же, как и при одновременном предъявлении этих стимулов. В случае выполнения этого критерия имеются основания для того, чтобы пренебрегать временным интервалом между двумя экспозициями и считать их практически одновременными. Этот критерий был использован в первом из описываемых в настоящей работе экспериментов.

Изложенное в первой главе понимание актуальных проблем ЗВС явилось теоретической основой для разработки нового метода изучения и математических моделей ЗВС, а также для постановки задач экспериментальных исследований, о которых сообщается в других главах.

Во второй главе диссертации описывается суть нового метода исследования ЗВС – метода фазового сдвига (МФС), – дается его модельное обоснование и излагается методика экспериментов. МФО можно рассматривать как дальнейшее развитие классического метода двух вспышек (Boynnton, 1972; Granit, Davis, 1931; Ikeda, 1965; Rashbass, 1970). В качестве стимула в МФС используется последовательная двухкратная экспозиция (в границах одной и той же апертуры) синусоидальной решетки с варьированием между ее двумя экспозициями пространственного фазового сдвига и интерстимульного интервала (ИСИ). МФС заключается в применении для анализа ЗВС (1) экспериментальных зависимостей контрастных порогов обнаружения парных экспозиций синусоидальных решеток от фазового сдвига при разных ИСИ (эти зависимости названы "пороговыми функциями фазового сдвига", сокращенно – ПФФС) и (2) феноменологических отчетов испытуемых о некоторых характеристиках видимого движения, возникающего в условиях, в том числе пороговых, парной экспозиции гетерофазных решеток. Для обоснования возможности использования ПФФС и феноменологических отчетов о видимом движении в целях изучения ЗВС разработано несколько моделей ЗВС: одна модель – с чисто иллюстративными целями, и две, являющихся вариантами модели энергетического детектора, – с исследовательскими.

В результате сравнения МФС с методами, применявшимися другими

авторами, делается вывод о большей информативности МФС. Вместе с разработанными моделями, ПФФС позволяют точнее определить динамику угасания следовых сенсорных образов, а феноменологические отчеты позволяют решить вопрос о том, относится ли динамика сенсорного следа к феноменологически скрытой фазе процесса восприятия, что утверждается в одном из вариантов теории психологического момента (Eriksen, Collins, 1967, 1968), или же эта динамика является феноменологически доступной. Кроме того, МФС предоставляет уникальные возможности для исследования вопроса о принципах пространственной организации ЗВС.

В связи с тем, что ПФФС являются нелинейными функциями, для их построения требуется не менее трех значений фазового сдвига, причем с учетом второй части МФС желательно иметь несколько фазовых сдвигов в диапазоне между 0° и 180° . Этим требованиям не удовлетворяет ни одна из работ других авторов, в которых применялись последовательные экспозиции равночастотных решеток (Breitmeyer, Ganz, 1977; Green, Blake, 1981; Watson, Nachmias, 1977). Самое большее число значений фазового сдвига, которое ранее изучалось, равно трем (Green, Blake, 1981). В последней работе не было предложено моделей, предсказывающих ПФФС и кинетические эффекты, а пороговые данные для каждого фазового сдвига рассматриваются по отдельности. Более того, в работе делается сомнительный вывод, что при фазовом сдвиге 90° , в отличие от 0° и 180° , последовательно предъявляемые решетки детектируются независимо, что равносильно утверждению об отсутствии ЗВС. В итоге авторы постулировали, что при фазовых сдвигах 0° и 180° решетки детектируются механизмом, чувствительным к мельканиям, а при фазовом сдвиге 90° – механизмом, чувствительным к движению. Тем самым авторы закрыли путь к объяснению кинетических эффектов и вступили в противоречие с лежащей в основе МФС идеей о возможности оценки процесса ЗВС с помощью ПФФС и феноменологических отчетов о видимом движении. Общий ход рассуждений М. Грина и Р. Блэйка является весьма типичным. Авторы многих современных исследований как бы видят свою высшую цель в том, чтобы поставить и решить вопрос о числе механизмов, отвечающих за изучаемые ими явления, практически не затрагивая вопроса о том, что это за механизмы. Для заключений о числе механизмов нередко используется постулат о том, что на уровне порога стимулы, обрабатываемые одним механизмом, имеют одинаковые феноменологические следствия. Апробация МФС дает возможность проверить этот постулат.

В третьей главе описывается эксперимент, состоящий из трех серий. Основным индикатором ЗВС служили контрастные пороги обнаружения гетерофазных пар синусоидальных решеток, которые представлялись в форме ПФФС. Дополнительным источником информации о ЗВС служили данные о кинетических эффектах, наблюдавшихся в условиях порогового обнаружения. Независимыми переменными в первой серии были пространственная частота – 5 значений в диапазоне от 0,5 до 5,0 цикл/град, и фазовый сдвиг – 0° , 45° , 90° , 136° , 162° . Во второй серии независимыми переменными были пространственная частота – 0,5 и 1,5 цикл/град, фазовый сдвиг – 0° , 54° , 108° , 162° , и отношение контрастов решеток, предъявляемых в первой и второй экспозициях, – 7 значений в диапазоне от 0 до 6. В третьей серии варьировалась пространственная частота – 0,5 и 2,5 цикл/град, фазовый сдвиг – 0° , 54° , 108° , 162° , и ИСИ – 3, 13, 23, 53, 103 и 203 мс. Длительность экспозиции отдельной решетки во всех опытах составляла 3 мс, средний уровень яркости решеток и адаптационного поля – 10 нит. В первой серии проведено два контрольных опыта с одновременным предъявлением двух синусоидальных решеток.

В первой и второй сериях ставилась задача проверить выполнение гипотезы полной ЗВС при ИСИ, равном 3 мс. Для проверки использовалось несколько предсказаний: равенство пороговых измерений в основных и контрольных опытах, идентичность формы ПФФС при разных пространственных частотах, ПФФС при последовательной экспозиции должны описываться такой же зависимостью, как и при реальной суммации, отсутствие кинетических эффектов. Ни одно из этих предсказаний не подтвердилось. Тем не менее полученные ПФФС свидетельствовали о наличии интенсивной ЗВС при всех фазовых сдвигах. Они имели вид быстро возрастающих с увеличением фазового сдвига функций. В третьей серии было прослежено изменение ПФФС при возрастании ИСИ, проведена проверка моделей статического и следящего интеграторов, собраны данные о частоте возникновения кинетических эффектов. Результаты измерения пороговых контрастов показали, что при увеличении ИСИ с 3 до 23 мс влияние фазового сдвига заметно ослабевает. При ИСИ, равных 53 и 103 мс, увеличение фазового сдвига уже не приводило к повышению порога, но в отдельных случаях имело место понижение порога. Тот факт, что это понижение обнаружено не у всех испытуемых и не для всех пространственных частот, возможно, объясняется большим шагом между опытными значениями ИСИ. При ИСИ, равном 203 мс, пороги для разных фазовых сдвигов приближались к уровню, порога одиночной экспозиции решетки.

Полученные данные позволяют сделать вывод о прогрессивном, хотя и не монотонном, уменьшении ЗВС при возрастании ИСИ.

Для аппроксимации ПФФС были использованы пороговые уравнения, выведенные из моделей.

Уравнение модели статического интегратора имеет вид:

$$m = m_0 / \sqrt{(1 \pm \cos \Delta\varphi) [1 \pm k(\tau)]},$$

уравнение модели следящего интегратора –

$$m = m_0 / \sqrt{2 [1 + \cos \Delta\varphi k(\tau)]},$$

где m – пороговый контраст решеток в парной экспозиции при данных фазовом сдвиге ($\Delta\varphi$) и ИСИ, m_0 – пороговый контраст однократно предъявляемой решетки, $k(\tau)$ – функция, характеризующая степень ЗВС, τ – интервал между началами предъявления двух последовательных стимулов. Уравнения выводились в предположении, что реакции на два последовательных стимула целиком входят в эпоху интегрирования.

Аппроксимация осуществлялась методом наименьших квадратов, а сравнение точности аппроксимации – по остаточным суммам квадратов отклонений. В результате был сделан вывод, что для решеток с пространственной частотой 0,5 цикл/град большое преимущество имеет модель следящего интегратора, а для решеток с другой частотой две модели не отличаются по точности предсказаний. Кроме того, на примере модели следящего интегратора была показана возможность улучшения качества аппроксимации ПФФС при отказе от допущения о полной интеграции реакций на две решетки. Об общем уровне точности модифицированного варианта следящего интегратора можно судить по коэффициенту корреляции между теоретическими и экспериментальными порогами – 0,99 для обеих пространственных частот.

По феноменологическим отчетам определялись частоты возникновения кинетических эффектов в различных условиях третьей серии. Эти эффекты в 2 раза чаще наблюдались при экспозиции решеток с пространственной частотой 0,5 цикл/град, чем 2,5 цикл/град. Совершенно отсутствовали сообщения о видимом движении при нулевом фазовом сдвиге, а также при всех фазовых сдвигах, когда ИСИ был равен 103 и 203 мс. Установлено, что с увеличением ИСИ уменьшается фазовый сдвиг, при котором кинетический эффект возникал наиболее часто. Такая обратная зависимость между ИСИ и пространственным смещением противоречит третьему закону Корте для классического стробоскопического движения.

Подводя итоги теоретической интерпретации результатов эксперимента, сделаны выводы: при ИСИ = 3 мс между двумя кратковременными экспозициями гетерофазных решеток их восприятие не согласуется с предсказаниями гипотезы полной ЗВС, однако для практических расчетов пороговых контрастов может быть условно принято, что

при фазовых сдвигах меньше 90° – 108° имеет место почти полная ЗВС; механизмы ЗВС в процессе обнаружения гетерофазных решеток обладают одними и теми же характеристиками независимо от того, наблюдаются или не наблюдаются кинетические эффекты; механизм ЗВС включает подпроцесс интегрирования с динамической пространственной локализацией; пространственная организация оперативной ЗВС подчиняется принципу идентичности объекта наблюдения; временная импульсная реакция зрительной системы на низкочастотные решетки обладает свойствами бифазического колебательного процесса.

Для дальнейшего исследования пространственно-временных других условий стробокинетических эффектов, возникающих при двухкратной экспозиции гетерофазных синусоидальных решеток, а также для получения необходимых данных для проверки модели инерциальной ЗВС, проведен трехсерийный эксперимент, в котором основная задача испытуемых состояла в формализованном описании ряда характеристик видимого движений. Четвертая глава целиком посвящена этому эксперименту и доказательству возможности объяснения стробокинетических эффектов на основе модели инерциальной ЗВС.

В первой и второй сериях изучалось видимое движение на уровне порогового контраста, в третьей – на разных уровнях в диапазоне от порогового до 45%, ИСИ в первой серии варьировался от 3 до 53 мс, во второй – от 63 до 103 мс, в третьей – от 3 до 123 мс, во всех сериях с шагом 10 мс. Фазовые сдвиги были равны 36° , 72° , 108° , 144° . Пространственная частота решеток составляла 0,5 цикл/град. От испытуемых требовалось сообщать о направлении видимого движения, давать категориальную оценку его качества и ранговую оценку скорости.

Было установлено существование трех видов кажущегося движения. При низких уровнях контраста и ИСИ меньше 63 мс видится движение в направлении, совпадающем с направлением фазового сдвига, при ИСИ больше 63 мс наблюдается либо движение в противоположном направлении, либо движение, в котором присутствуют оба направления (двухфазный эффект). При высоких уровнях контраста воспринимаются эти же эффекты, но расширяется диапазон ИСИ, в котором видится двухфазный эффект. Проведен подробный анализ зависимостей характеристик видимого движения от ИСИ и фазового сдвига для данных, полученных в первой серии. В других сериях такой анализ не проводился из-за выявленных различий между испытуемыми в установке на оценку отдельных видов кинетических эффектов и отдельных

компонент двухфазного эффекта.

Модель, предложенная для объяснения этих эффектов, содержит следующие основные положения: распределение интенсивности в пространстве образа является синусоидальным вдоль оси x ; амплитуда синусоидального распределения интенсивности образа изменяется во времени по закону, который назван "временной импульсной реакцией" и обозначен $h(t)$; выполняется свойство инвариантности относительно сдвига во времени и аналогичное свойство для пространственного фазового сдвига; при временном перекрытии двух следовых образов происходит поточечное суммирование их интенсивностей; видимое наблюдателем движение является функцией от перемещения максимумов и минимумов в пространственном распределении интенсивности, суммарного следового образа. Опираясь на эти положения, легко показать, что суммарный образ, во-первых, имеет синусоидальное распределение интенсивности, во-вторых, его амплитуда и фаза, или положение, в общем случае изменяются во времени. Зависимость фазы от времени (кинетическая функция) даёт возможность объяснять и предсказывать пространственно-временные характеристики и условия возникновения видимого движения. Предполагается, что обнаружение наблюдателем движения зависит и от амплитуды, функция которой от времени названа "амплитудной функцией". С помощью одного из опробованных вариантов бифазической $h(t)$ проведена графическая имитация кинетической и амплитудной функций, на основе которой вычислялись оценки качества и скорости предсказываемого движения для каждого сочетания фазового сдвига и ИСИ в диапазоне от 3 до 53 мс. Коэффициент ранговой корреляции между вычисленными оценками и экспериментально установленными в первой серии характеристиками частоты, качества и скорости во всех случаях оказался равным 0,9.

По результатам проверки модели сделано заключение, что разработанная модель инерциальной ЗВС объясняет все основные количественные и качественные характеристики исследованных кинетических эффектов: существование в пороговых условиях однонаправленного движения при ИСИ меньше 63 мс и его смену двухфазным движением при больших ИСИ; возникновение хорошего по качеству видимого движения уже при ИСИ = 3 мс; обнаруженные в первой серии количественные закономерности изменения характеристик частоты, качества и скорости в зависимости от ИСИ и фазового сдвига; доминирование в пороговых условиях той компоненты двухфазного движения, направление которой противоположно направлению фазового сдвига.

Показательно, что необходимый для объяснения результатов эксперимента тип $h(t)$ соответствует экспериментальным данным о процессе ЗВС. Учитывая высокую степень валидности модели и своеобразие изучавшихся эффектов, предлагается назвать их термином «суммакинез», указывающим на механизм их возникновения. В заключении делается вывод, что суммакинез может использоваться в качестве феноменологического индикатора инерциальной ЗВС.

В экспериментах, которые излагались в третьей и четвертой главах диссертации, как и во всех исследованиях ЗВС, проведенных другими авторами, экспозиция стимулов происходила во время фиксации глаз. В пятой главе описываются три эксперимента, в которых впервые изучалась ЗВС стимулов, предъявляемых во время саккад.

В первом эксперименте, состоящем из двух серий, измерялись контрастные пороги обнаружения гетерофазных пар синусоидальных и квадратических решеток, предъявляемых с короткими ИСИ (1-3 мс) как во время саккадических, так и во время фиксационных движений глаз. Во втором эксперименте применялся традиционный метод изучения ЗВС – определялись зависимости порога обнаружения пространственно однородного инкремента яркости от длительности его экспозиции в обоих глазодвигательных режимах. Учитывая, что зависимости «порог—длительность» являются наиболее признанными показателями ЗВС, этот эксперимент рассматривался в качестве контрольного. В третьем эксперименте ставились цели: выяснить, возникает ли стробоскопическое движение типа суммакинеза в условиях экспозиции решеток во время саккад, и, если да, то установить зависимость частоты и направления видимого движения от ИСИ, пространственной частоты, контраста и ретинального фазового сдвига. Третий эксперимент является попыткой использования суммакинеза для изучения саккадической ЗВС и проблемы пространственной организации инерциальной ЗВС. Во всех условиях этого эксперимента предъявлялись пары объективно синфазных решеток, но из-за движения глаза в интервале между двумя экспозициями возникал ретинальный фазовый сдвиг. Следует также отметить, что при ИСИ меньше 20 мс обе экспозиции попадали в интервал выполнения саккады, а при *больших* ИСИ в этот интервал попадала только первая решетка.

Резюме результатов и выводов трех экспериментов. Основной вывод, который делается из проведенных экспериментов, состоит в том, что в условиях фиксационной и саккадической экспозиции стимулов процессы ЗВС имеют почти идентичные характеристики. Этот

вывод опирается на полученные данные о сходстве в двух глазодвигательных режимах (1) ПФФС, (2) функций "порог–длительность" и (3) характеристик суммакинеза. В первом эксперименте установлена возможность предсказания контрастных порогов обнаружения двух- и трехкратно предъявляемых с короткими ИСИ синусоидальных и квадратических решеток на основе вычисления ретинальных фазовых сдвигов. Показана также возможность предсказания направления суммакинеза на основе рассмотрения ретинального фазового сдвига, но не действительного, который в условиях третьего эксперимента был постоянным и равным нулю. Полученные данные о влиянии ретинального фазового сдвига на контрастные пороги и характеристики суммакинеза согласуются с ретинотопическим принципом пространственной организации инерциальной ЗВС. В связи с этим можно предполагать, что информация о действительном пространственном положении объектов выделяется в зрительной системе не ниже того уровня, на котором осуществляется ЗВС, ответственная за изучавшиеся кинетические эффекты. Поэтому имеются основания для критической оценки точки зрения, согласно которой зрительные следы одного и того же стимула предъявляемого повторно в различные моменты до, во время и после выполнения саккады, сначала подвергаются корректировке в соответствии с принципом позиционной константности, а затем попадают в иконическую память и становятся феноменологически доступными (напр., Ritter, 1976). Очевидно, что восприятие не может начинаться с феноменальной реконструкции физического пространства, то есть, в известной мере, с того, что является лишь промежуточным этапом перцептивного процесса.

В заключительном разделе диссертации подводятся итоги проделанной работы и намечаются перспективы дальнейших исследований. В настоящей работе на базе методики двухкратного предъявления синусоидальных решеток с варьированием пространственного фазового сдвига и ИСИ был разработан новый метод изучения ЗВС, названный "методом фазового сдвига" (МФС). Одной из особенностей МФС является взаимодополнительное использование двух совершенно разных индикаторов ЗВС: пороговых функций фазового сдвига (ПФФС), строящихся по результатам измерения пороговых контрастов в зависимости от фазового сдвига при разных ИСИ, и феноменологических отчетов о кинетических эффектах, возникавших в пороговых и вышепороговых условиях экспозиции гетерофазных синусоидальных решеток. Предполагается возможность применения ряда других индикаторов – субъективные

оценки видимого контраста и регистрация времени реакции. Разработка МФС состояла из нескольких этапов. На первом этапе был проведен анализ теоретических представлений о механизмах и явлениях ЗВС и сформулирована гипотеза двухкомпонентного механизма ЗВС, на втором – была дана теоретическая интерпретация модели энергетического детектора и построены математические модели, предназначенные для описания ПФФС и кинетических эффектов, на третьем – демонстрировалась способность МФС решать разнообразные проблемы. С помощью МФС был установлен ряд фактов, которые не сообщались ранее в психофизической литературе, напр. отсутствие полной ЗВС стимулов, предъявляемых с ИСИ, равным 3 мс; кроме того, показано, что экспериментальные ПФФС являются чувствительным индикатором процессов ЗВС; обнаружен новый класс стробокинетических эффектов, пространственно-временные условия возникновения которых резко отличаются от аналогичных условий классических эффектов стробоскопического движения; установлена возможность ЗВС стимулов, предъявляемых в пределах времени выполнения саккадического движения глаз; установлена возможность ЗВС двух стимулов, один из которых предъявляется во время выполнения саккады, а второй после её окончания; процессы ЗВС в условиях экспозиции стимулов при фиксации и саккадах значимо не отличаются; пространственная организация инерциальной ЗВС подчиняется ретинотопическому принципу, а оперативной ЗВС – принципу идентичности объекта. На основе установленных в настоящей работе данных могут быть поставлены под сомнение некоторые прежние теоретические представления: гипотеза, согласно которой асинхронные пары равночастотных решеток с разными фазовыми сдвигами при одном и том же ИСИ детектируются различными механизмами; постулат о том, что на уровне порога стимулы, обрабатываемые одним механизмом, имеют одинаковые феноменологические следствия и потому не различаются наблюдателем; представление о том, что эффекты стробоскопического движения не зависят от проксимальных условий стимуляции; гипотеза стирания сенсорного следа предшествующего стимула сенсорным следом последующего стимула; гипотеза статической композиции сенсорных следов последовательно предъявляемых стимулов.

В целом МФС показал себя эффективным и продуктивным методом исследования ЗВС, позволяющим решать сложные проблемы и добывать новые данные о ЗВС.

По теме диссертации опубликовано:

1. Саккадическое подавление контраста. – Вестник Московского университета. Серия 14. Психология, 1979, № 1, с. 9-20. (совместно с Логвиненко А.Д., и Назаровым А.И.).

2. Модель стимула и саккадические движения глаз. – В кн.: Тезисы докладов I Всесоюзной конференции "Человеко-машинные обучающие системы". – М., 1979, с. 27-28. (совместно с Назаровым А.И. и Логвиненко А.Д.),

3. Временная суммация гетерофазных синусоидальных решеток. – Вестник Московского университета. Серия 14, Психология, 1982, № 1, с. 30-40. (совместно с Назаровым А.И.).

4. Кинетические эффекты временной суммации. – Вестник Московского университета. Серия 14. Психология, 1982, № 4, с. 42-55.