

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики открытых систем

**Статистические характеристики перемежаемости, возникающей при  
визуальном восприятии неоднозначных изображений**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки 4 курса 431 группы  
направления 03.03.03 Радиофизика  
Факультета нелинейных процессов  
Кудрявцевой Екатерины Валерьевны

Научный руководитель  
проф., д-р физ.-мат. наук

\_\_\_\_\_

А.А. Короновский

Зав. кафедрой физики  
открытых систем  
проф., д-р физ.-мат. наук

\_\_\_\_\_

А.А. Короновский

Саратов 2017 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Обычно человек воспринимает мир как стабильную, однозначную картину. Восприятие человека напрямую связано с его мышлением и сенсорными процессами. Одновременно с восприятием мы изучаем предмет познания, пытаемся найти объяснение его сущности. Благодаря роли нашего мышления, указывающего, что нужно видеть, человек начинает избирательно реагировать именно на те визуальные стимулы, на основе которых и создается необходимый нам предметный образ. Избирательный процесс восприятия приводит к тому, что образ восприятия переходит в образ сознания, под воздействием которого оказывается человек в дальнейшем.

На протяжении последних десятилетий исследования многих ученых сосредоточены на изучении, распознавании причинности восприятия неоднозначных изображений [1-7]. Особенность мультистабильных изображений заключается в том, что с течением времени они вызывают несколько различных сознательных восприятий у наблюдателя, в то время как воздействие остается полностью неизменным. Имеет место перемежаемость состояний.

Цель данной работы заключается в изучении перемежаемости, возникающей при визуальном восприятии такой неоднозначной фигуры, как куб Неккера. Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. В первой главе рассмотрены примеры неоднозначных изображений, а также работы, посвященные указанной теме. Во второй главе приведены статистические зависимости, построенные на основании данных, полученных в ходе эксперимента над испытуемым при разных значениях управляющего параметра. В третьей главе рассмотрена простейшая модель, способная описать перемежаемость, возникающую при визуальном восприятии куба Неккера. В заключении сформулированы основные результаты, полученные в процессе выполнения выпускной работы.

## ГЛАВА 1. НЕОДНОЗНАЧНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Наверняка каждый человек в своей жизни хотя бы раз встречался с той или иной оптической иллюзией. Например, известное изображение обращаящихся фигур Ваза Рубина воспринимается либо как ваза, либо как два лица, изображенных в профиль (рис. 1). Если человека предупредить заранее, что он увидит вазу, то он действительно с большей вероятностью сначала увидит вазу. Однако если профили затемнить, а вазу и фон оставить белыми, то наблюдатель вначале заметит профили: при равных условиях наблюдения поверхность с четкими границами, обладающая меньшей площадью, стремится приобрести образ фигуры, и тогда все, окружающее её, воспринимается как фон [6].

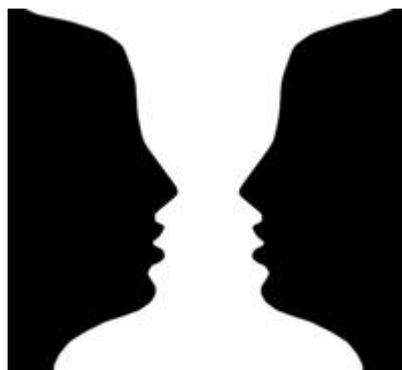


Рис. 1: Ваза Рубина

Зачастую человек способен видеть только одну сторону предъявленного изображения. Пример этому — изображение «Парадоксальная теща» (рис. 2), в котором люди обычно видят либо молодую женщину, либо старуху, либо, крайне редко, и то, и другое.



Рис. 2: Парадоксальная теща

Хорошо прослеживается активная роль нашего мышления при рассмотрении изображения фигуры на рис. 3, известной как куб Неккера.

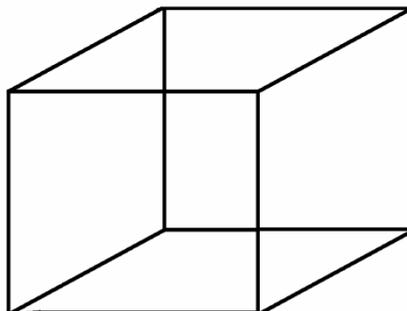


Рис. 3: Куб Неккера

При взгляде на куб сначала какой-то один из двух квадратов — либо нижний левый, либо верхний правый — принимается человеком за переднюю грань. По истечении, примерно, трех секунд, уже другой квадрат воспринимается в качестве передней грани. Описанная переменяемость не прекращается на протяжении всего времени наблюдения.

Бистабильное восприятие на протяжении многих лет исследуется учеными, но до сих пор не удалось получить точные представления о нервных механизмах, вызывающих переменяемость, сменяемость, изображений. Стандартным подходом в изучении временной динамики является исследование формы распределения длительности восприятия. Именно такому — статистическому — способу описания полученных данных посвящена моя работа.

Как уже говорилось, куб Неккера — неоднозначное изображение, феномен которого заключается в том, что при длительном наблюдении человек видит то левый куб, то правый (рис. 4).

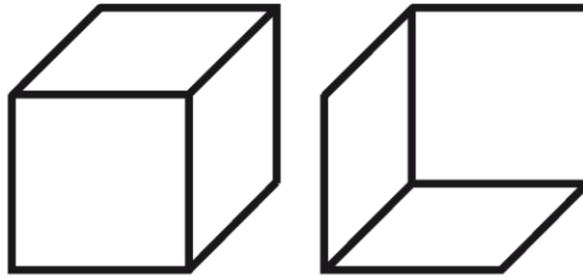


Рис. 4: Разные восприятия кубика (левый и правый)

Немецкими учеными был проведен эксперимент, в котором Куб Неккера с черными линиями и белым фоном, помещался в центр экрана, маленькая точка в левом нижнем углу куба служила точкой фиксации. В течение 50 минут одиннадцати волонтерам, участвовавшим в эксперименте, необходимо было нажимать кнопку на клавиатуре каждый раз, когда одно восприятие сменялось другим. Данные, полученные в ходе опыта, представлены на рис. 5 [3].

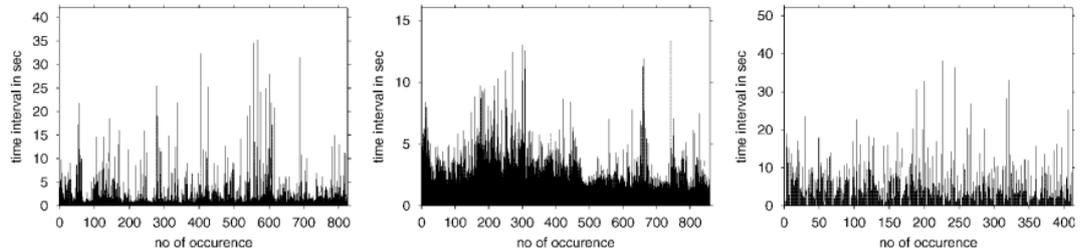


Рис. 5: Зависимость длительности восприятия от номера переключения [3]

Стандартный подход к обработке полученных данных заключается в вычислении распределения времени переключения, которое используется в качестве отличительной черты данной модели.

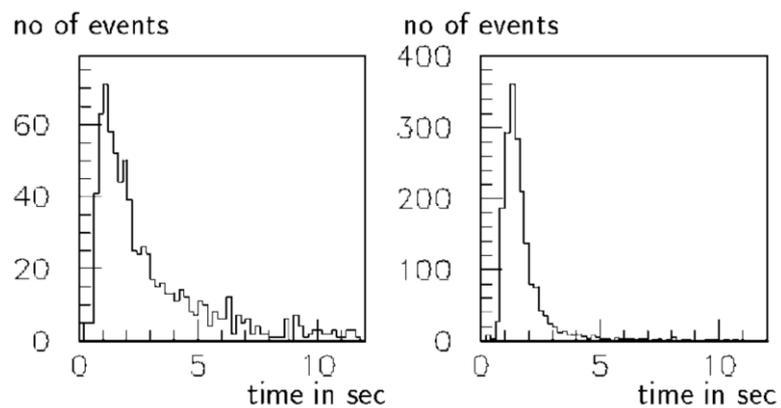


Рис. 6: Результаты обработки данных из работы [8]

На рис. 6 показаны результаты обработки данных, полученных в ходе описанного эксперимента: здесь по вертикали отложено общее количество соответствующих случаев (частота встречаемости данного интервала времени), а по горизонтали — время (или длительность фазы). Установлено, что в результате должно получиться так называемое гамма-распределение [8], характеризующееся резким возрастанием в начале и длинным хвостом в конце.

## ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С КУБОМ НЕККЕРА

Во второй главе представлены результаты обработки данных — длительностей восприятия правого (случай, когда передняя грань лежит выше задней) и левого (передняя грань лежит ниже задней) кубиков, полученные в ходе эксперимента с одним человеком при разных значениях управляющего параметра.

В среднем было зафиксировано 294 переключения для каждого случая. В качестве неоднозначного изображения в работе использовался куб Неккера с разными значениями интенсивности внутренних граней при неизменной интенсивности контура. Интенсивность  $I$  граней, исходящих от внутреннего левого угла менялась в пределах  $[0;1]$ , а интенсивность граней, исходящих из правого угла задавалась как  $(1 - I)$ . При восприятии куба Неккера наблюдатель осознаёт лишь один из двух возможных вариантов изображения при тождественной сенсорной информации. Продолжительность каждого периода при постоянном восприятии была вычислена, исходя из временного интервала между двумя последовательными нажатиями клавиш.

В первом разделе второй главы приведены результаты обработки эксперимента с симметричным кубом Неккера — при  $I = 0.5$  (рис. 7).

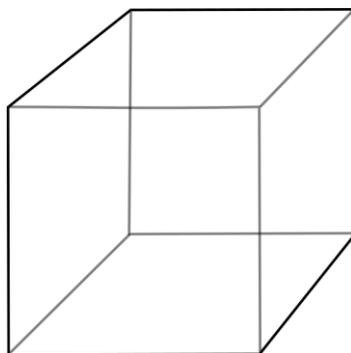


Рис. 7: Симметричный куб Неккера

В ходе обработки данных были построены распределения длительностей восприятия, изображенные на рис. 8.

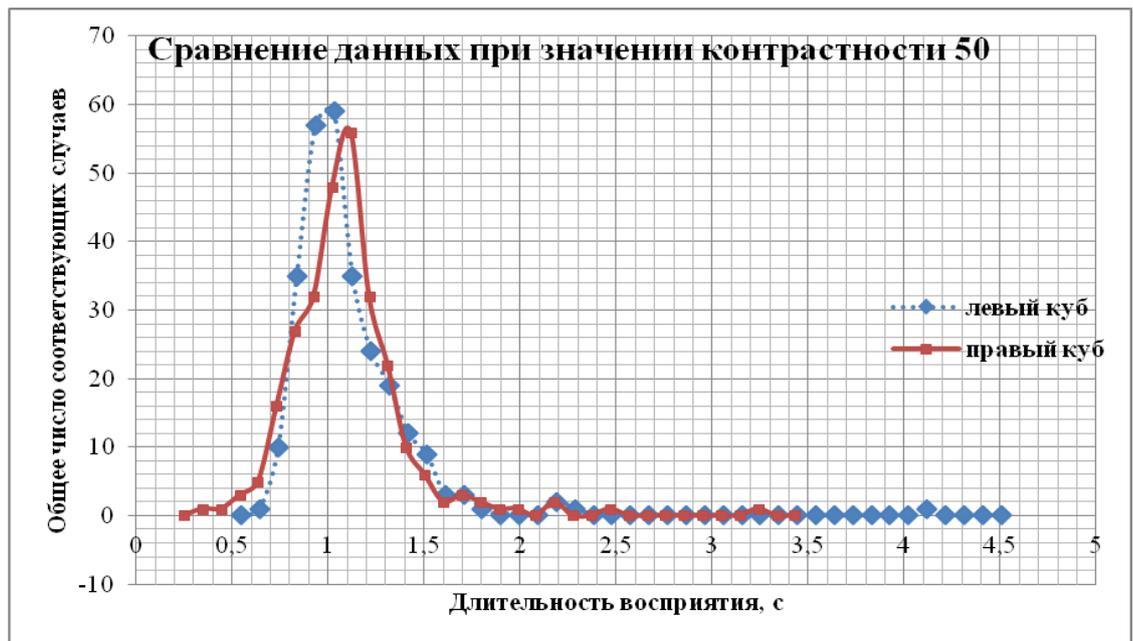


Рис. 8: Формы распределения длительности восприятий для случая левого и правого кубов при  $I=0.5$

Из рис. 8 видно, что максимумы приходятся на близкие значения длительности 1,15–1,25 с, распределения имеют вид гамма-распределений и в целом отличаются несильно. Это говорит о том, что значения длительностей фаз переключений практически равновероятны в обоих случаях. То есть испытуемый приблизительно одинаковое количество времени видел и левый куб, и правый.

Во втором разделе второй главы для оценки влияния параметра интенсивности граней на восприятие рассмотрены случаи несимметричного куба при разных значениях параметра  $I$ . Начнем рассмотрение с асимметричного куба Неккера при значении интенсивности  $I = 0.40$  (рис. 9).

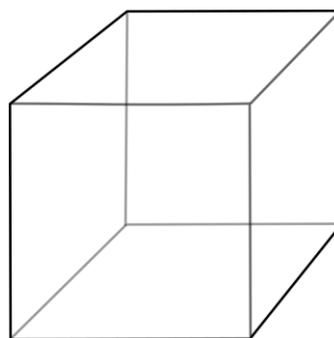


Рис. 9: Куб Неккера при  $I=0.40$

Как и в предыдущем случае, прослеживается гамма-распределение (см.рис. 10), однако уже заметно несовпадение графиков.

Из рис. 10 можно сделать вывод о том, что левый куб наблюдался дольше (максимум его распределения длительности восприятия выше).

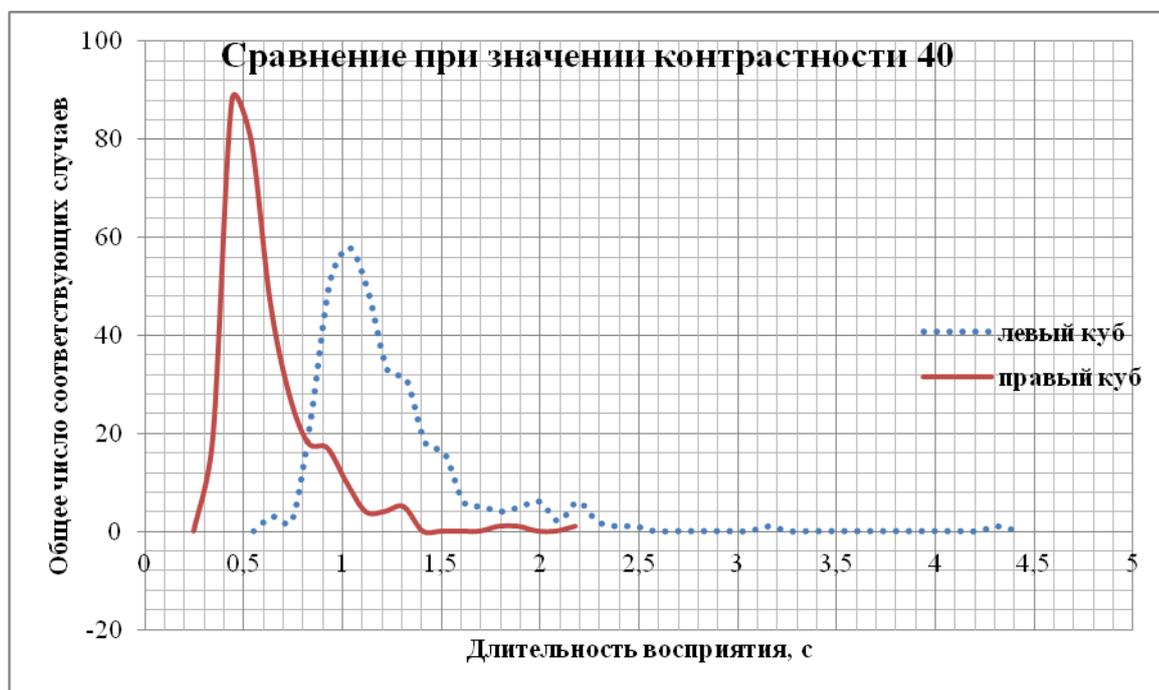


Рис. 10: Формы распределения длительности восприятий для случая левого и правого кубов при  $I=0.40$

Теперь уменьшим параметр интенсивности до  $I=0.32$  (рис. 11) и посмотрим, как изменятся статистические характеристики.

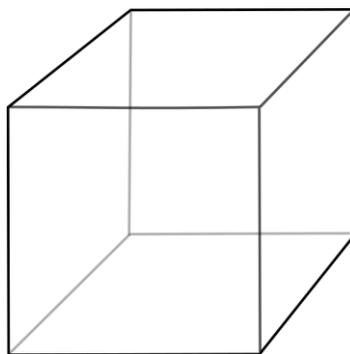


Рис. 11: Куб Неккера при  $I=0.32$

В данном случае уже при взгляде на изображение куба нетрудно предположить, что левый куб будет наблюдаться еще дольше. Однако всё

ещё имеет место перемежаемость восприятий. Проследим эту динамику на графиках.



Рис. 12: Формы распределения длительности восприятий для случая левого и правого кубов при  $I=0.32$

На рис. 12 показаны распределения длительностей восприятия. Видно, что наблюдатель значительно дольше видел левый куб, в то время, как правый куб был виден на протяжении короткого промежутка времени.

Из полученных характеристик следует то, что по мере уменьшения параметра интенсивности  $I$  наблюдатель в течение долгого времени будет видеть левое положение куба Неккера.

В третьей главе приведена теоретическая модель, с помощью которой можно описать перемежаемость двух восприятий кубика в случае симметричной и асимметричной моделей.

### ГЛАВА 3. МОДЕЛЬ, ОПИСЫВАЮЩАЯ ПЕРЕМЕЖАЕМОСТЬ, ВОЗНИКАЮЩУЮ ПРИ ВИЗУАЛЬНОМ ВОСПРИЯТИИ КУБА НЕККЕРА

В качестве модели для нашего исследования возьмем уравнение

$\dot{x} + x^3 - x + b = 0$ , где, согласно [9] функция

$$f(x) = x^3 - x + b \quad (1)$$

отвечает потенциалу

$$U(x) = \frac{x^4}{4} - \frac{x^2}{2} + bx. \quad (2)$$

Здесь последнее слагаемое отвечает за симметрию потенциальной функции модели. В дальнейшем рассмотрим случаи симметричной и асимметричной моделей в присутствии и отсутствии шумов в системе, а также построим статистические характеристики в случаях с шумом.

В первом разделе третьей главы рассмотрена симметричная система при  $b = 0$ . Найдем положения равновесия этой системы. Введем функцию  $F(x) = -\dot{U}(x) = -x^3 + x$  и, приравняв ее к нулю, получим корни кубического уравнения:  $x_{01} = -1$ ;  $x_{02} = 1$ ;  $x_{03} = 0$ . График функции (2) представлен на рис. 13

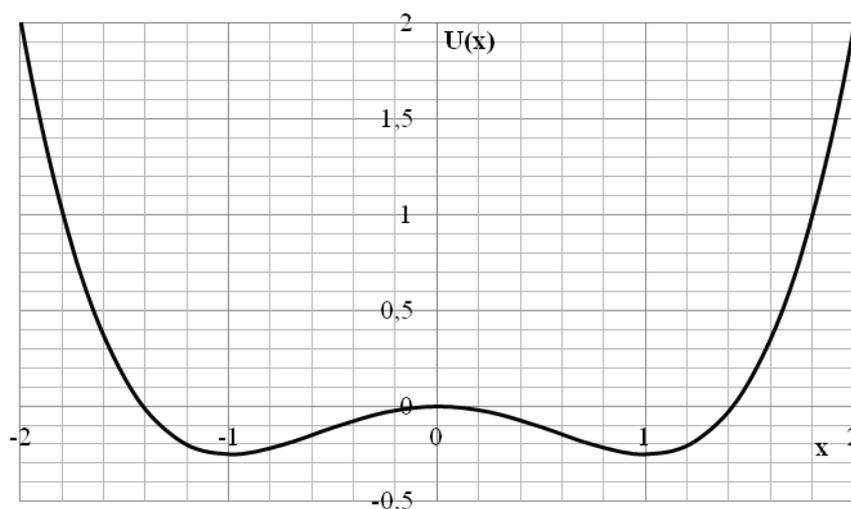


Рис. 13: Потенциальная функция симметричной модели

Видим, что график имеет вид бипотенциальной ямы, устойчивые положения равновесия которой  $(-1; -0.25)$  и  $(1; -0.25)$  равновероятны. Здесь уже можно провести аналогию с процессами, описанными в предыдущих пунктах работы: каждая потенциальная яма соответствует одному из восприятий кубика: левая - левому восприятию, а правая — правому.

В первом подразделе первого раздела третьей главы рассмотрена динамика системы в отсутствие шумов в ней. Для примера рассмотрим поведение системы при разных начальных условиях:  $x_0 = 2$  и  $x_0 = -2$  (рис. 14).

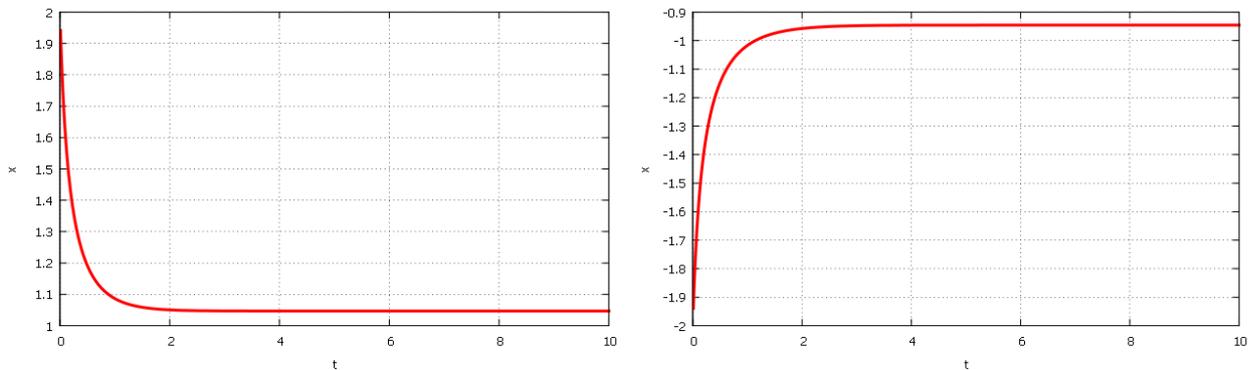


Рис. 14: Временная реализация симметричной модели в отсутствие шума при разных начальных условиях

Из рис. 14 видно, что с течением времени система устанавливается в ближайшем к заданному начальному условию положении равновесия — единице и минус единице. С дальнейшим увеличением времени система остается в стационарном состоянии — переключений между состояниями не наблюдается.

Возвращаясь к кубикам, можно сказать, что в отсутствие шумов данная ситуация соответствует тому, что наблюдатель бесконечно долго видел бы лишь одно положение куба Неккера. Однако ведь на деле это совсем не так. Попытаемся «создать» переключения в выбранной модели — введем шум в систему.

Во втором подразделе первого раздела третьей главы приводятся результаты исследования системы с шумом, распределенным по закону

Гаусса [10]. На рис. 15 представлено сравнение кривых, полученных теоретически (по заданному закону распределения) и с помощью смоделированного генератора шума.



Рис. 15: Сравнение теоретического распределения и распределения, полученного с помощью генератора шума

Видно, что кривые совпадают, следовательно, выбранный алгоритм генерации шума вполне приемлем для построения необходимой модели.

Посмотрим за динамикой симметричной системы  $\dot{x} + x^3 - x + \xi(t) = 0$  в присутствии шума  $\xi(t)$ , амплитуда которого равнялась 5, на небольшом промежутке времени (рис. 16). Решения данного дифференциального уравнения находились методом Эйлера при шаге интегрирования  $h = 0.01$ .

В отличие от рис. 14 теперь прослеживаются переключения между состояниями — выделяются фазы восприятий в окрестности  $x = 1$  и  $x = -1$ . Разумно предположить, что в симметричном случае общие длительности верхних и нижних фаз должны быть примерно одинаковыми.

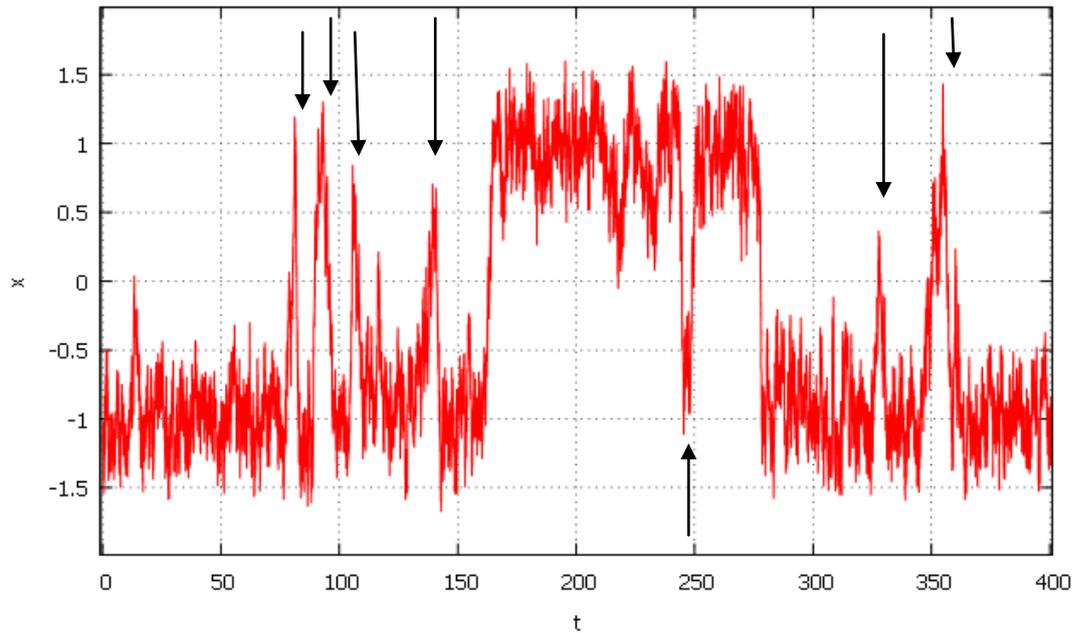


Рис. 16: Увеличенный фрагмент временной реализации симметричной системы: стрелками обозначены кратковременные «перескоки»

Однако среди «нужных» продолжительных фаз наблюдаются короткие скачки (артефакты), которые не являются отдельными фазами. На рис. 16 подобные перескоки временной реализации обозначены стрелками. Для того чтобы избавиться от артефактов, было решено использовать метод скользящего среднего — бралась  $i - \text{ая}$  и  $i \pm (N/2 - 1)$  последовательных точек и вычислялась средняя арифметическая координата. Такой алгоритм был проделан для всей временной реализации. Результаты описанной обработки представлены на рис. 17

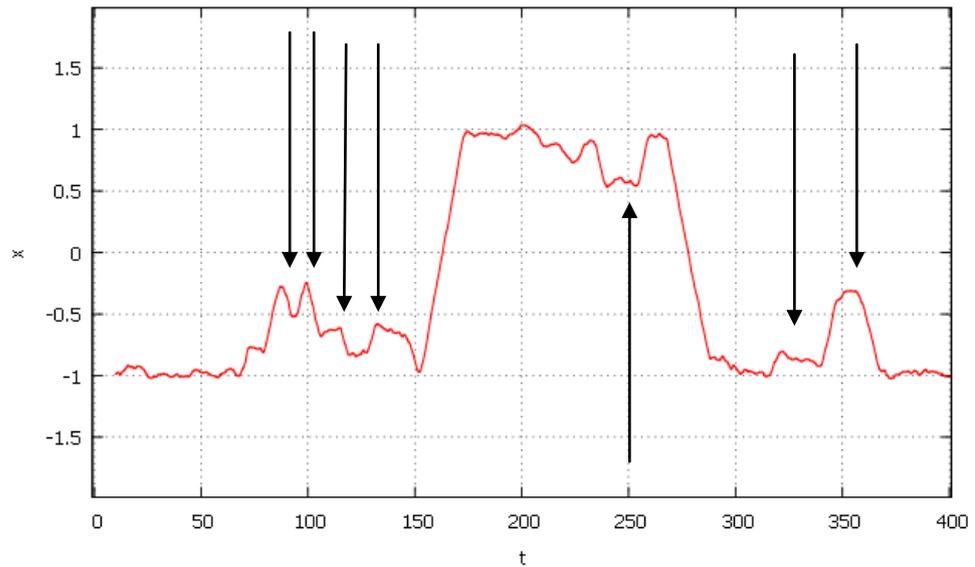


Рис. 17: Сглаженная временная реализация при  $N=1000$ : стрелками обозначены кратковременные «перескоки»

В ходе усреднения была получена сглаженная временная реализация (рис. 17), где все мелкие скачки (указаны стрелками) уже относятся к одной из длительных фаз, не образуя кратковременных артефактов, которые могут испортить общую картину распределения длительности восприятия.

После применения метода скользящего среднего, были построены статистические характеристики для левого и правого восприятий при  $N = 2000$  и  $t = 1000000$  с (рис. 18).

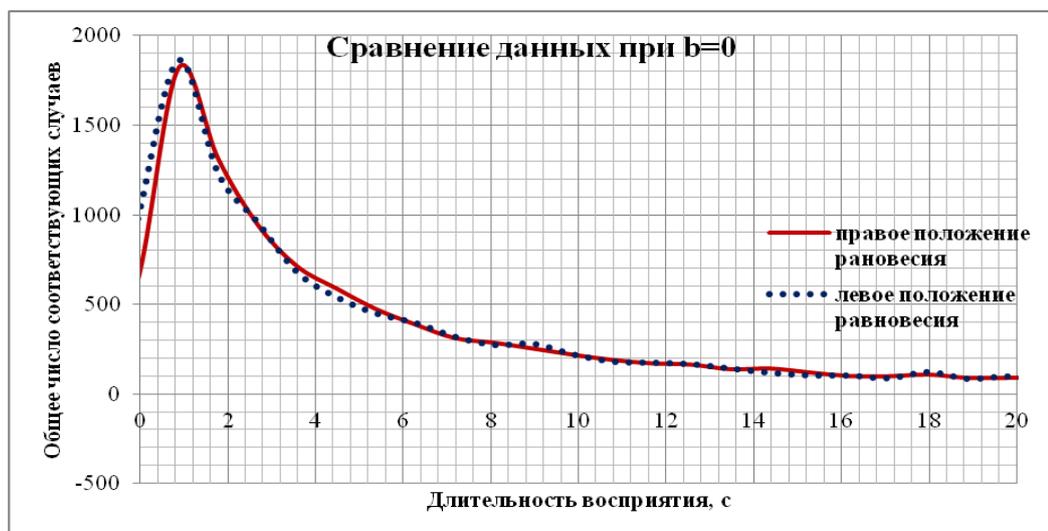


Рис. 18: Формы распределения длительности восприятий для случая левого и правого кубов при  $b=0$

По полученным графикам видно, что они имеют форму гамма-распределений и практически совпадают. Это говорит о том, что система примерно одинаковое количество времени находится в каждом из состояний равновесия. То есть в случае симметричного куба длительности восприятия правого и левого кубиков одинаковые, что хорошо согласуется с результатами экспериментальной части работы.

Во втором разделе третьей главы рассмотрена асимметричная модель — с параметром  $b = 0.1$  в (1) и (2). Положениям равновесия соответствуют абсциссы  $x_{01} = -1.04668$ ;  $x_{02} = 0.945649$ ;  $x_{03} = 0$ . График функции представлен на рис. 19.

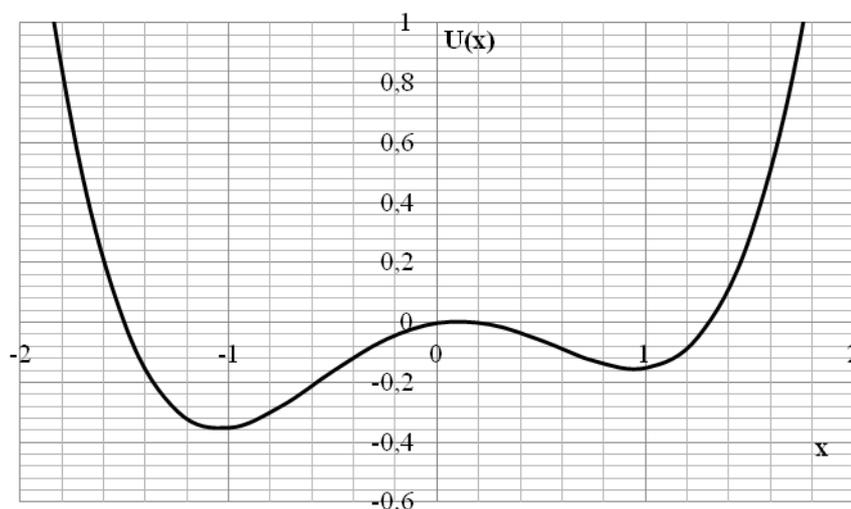


Рис. 19: Потенциальная функция асимметричной модели

Аналогично симметричной модели, в систему добавлялся гауссовский шум. После применения метода скользящего среднего при  $N = 2000$  на промежутке до  $t = 1000000$  с были построены статистические характеристики (рис. 20).

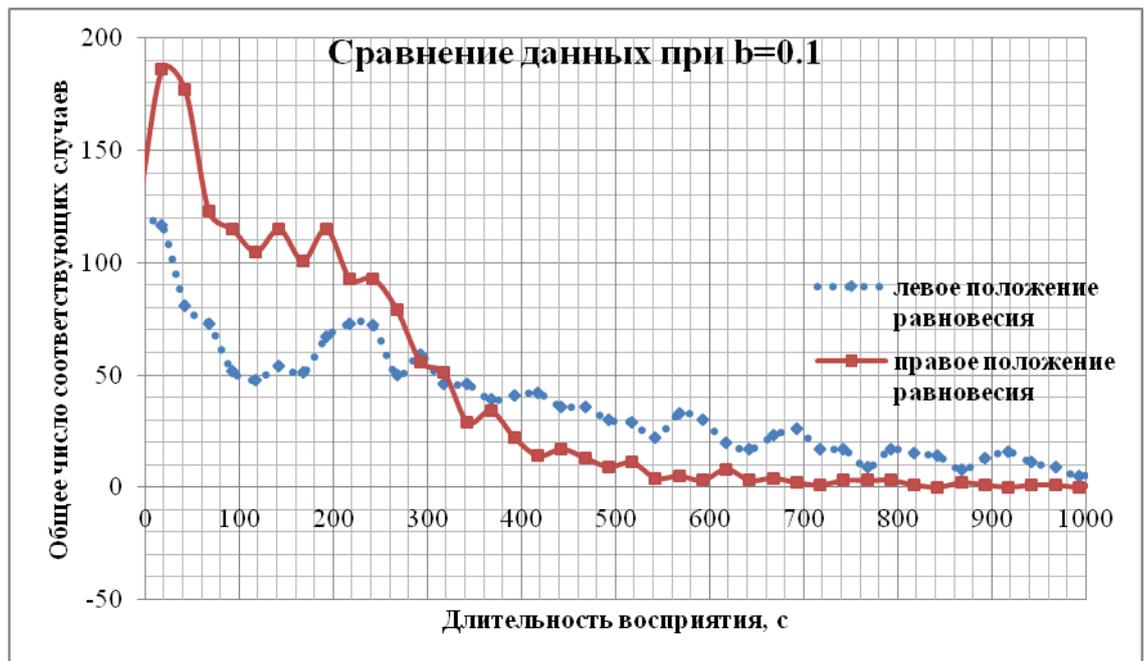


Рис. 20: Формы распределения длительности восприятий для случая левого и правого кубов при  $b=0.1$

Как и прежде, характеристики имеют форму гамма-распределений. Однако, в отличие от симметричной модели, теперь имеется значительное расхождение кривых. Распределение для левого положения равновесия (сплошная кривая на рис. 20) более пологое в то время, как амплитуда распределения правого — больше. Из этого можно сделать вывод о том, что система дольше находится в левом положении равновесия, что соответствует левому восприятию куба Неккера у наблюдателя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе настоящей бакалаврской работы были рассмотрены неоднозначные изображения, проведено ознакомление с явлением перемежаемости состояний на примере куба Неккера. Был изучен ряд научных работ, описывающих данное явление, а также проведено качественное сравнение результатов научных работ с данными эксперимента и данными, полученными в ходе численного моделирования для симметричной и асимметричной систем. Важно отметить, что в подавляющем большинстве научных работ описаны лишь системы с симметричным потенциалом, тогда как в настоящей выпускной квалификационной работе рассмотрен случай с несимметричным потенциалом.

Обобщая результаты экспериментальной части работы, стоит заметить, что гистограммы, полученные в ходе обработки данных, соответствуют результатам работы [3]: вид распределения имеет образ гамма-распределения.

В теоретической части работы было проведено численное моделирование перемежающейся системы, а также был разработан метод выделения участков, соответствующих двум разным состояниям во временной реализации, полученной в ходе численного эксперимента. Представленная модель способна описать сменяемость изображений, возникающую при визуальном восприятии куба Неккера. Стоит подчеркнуть качественное совпадение результатов экспериментальной обработки с результатами численного моделирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Wernery Jannis Bistable Perception of the Necker Cube in the Context of Cognition & Personality. - Zürich : ETH, 2013. - стр. с.10.
- [2] Pisarchik A. N. Jaimes-Reategui R., Magallon-Garcia, C. D. A., Castillo - Morales C. O Critical slowing down and Noise - induced intermittency in bistable perception: bifurcation analysis // Biological Cybernetics. - 2014. - Vol. 108 (4). - стр. P. 397–404.
- [3] I.Merk J.Schnakenberg A stochastic model of multistable visual perception // Biological Cybernetics. - Cologne : Springer, 2002. - 2. - стр. 112.
- [4] В. Романов В. Юридическая психология: Учебник. - [б.м.] : Юристъ, 1998. - 2-е изд., М. : стр. 99.
- [5] Б. Эльбрунн Логотип. - СПб, М.: «ОЛМА-ПРЕСС Инвест» : Издательский дом «Нева», 2003. - стр. 109.
- [6] Эрнст Гобрих История искусства / перев. Крючкова В. Майская М.. - М. : «Искусство — XXI век», 2014.
- [7] Jan W. Brascamp Raymond van Ee, Wiebe R. Pestman, Albert V. van den Berg Distributions of alternation rates in various forms of bistable perception// Journal of Vision. - 2005. - стр. 287-298.
- [8] T. Murata, T. Hamada, Y. Kakita, T. Yanagida Meaning of gamma distribution in perceptual rivalry // Staff.Aist.Go.Jp. - 2004. - 29.
- [9] Кузнецов А.П. Савин А.В., Тюрюкина Л.П. Введение в физику нелинейных отображений. - Саратов : "Научная книга", 2010. - стр. 127.
- [10] Поляков Д.Б. Круглов И.Ю. Программирование в среде Турбо Паскаль. Версия 5.5. - Москва : МАИ, 1992.