

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию ЖУКОВА Михаила Сергеевича
«Численный анализ методом Монте-Карло временных и энергетических
характеристик сигналов в хаотических средах и системах»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Диссертационная работа Жукова Михаила Сергеевича посвящена исследованию актуальной темы: разработке и применению численных методов анализа статистических характеристик волновых полей различной физической природы в случаях, когда на пути распространения волн встречаются хаотические неоднородности параметров среды, приводящие к многократному рассеянию волн. В присутствии многократного рассеяния волн на большие углы в статистически неоднородных системах, известные аналитические решения неэффективны. При этом на первый план выступают численные методы анализа, среди которых важное место занимает корпускулярный метод статистического моделирования Монте-Карло, развиваемый в диссертации соискателем.

В диссертации этот метод применяется в следующих случаях:

- моделирование и расчёт статистических характеристик импульсного оптического излучения видимого и ближнего ИК диапазонов, рассеянного в оптически толстых образцах неоднородных биологических тканей;

- анализ усреднённых энергетических и временных характеристик принимаемых сигналов при распространении волн в плоских волноводах с шероховатыми границами, моделирующих условия распространения радиоволн в области между поверхностью Земли и нижней границей ионосферы, канализацию микроволнового электромагнитного излучения в планарных структурах и прохождение звука через подводный звуковой канал между поверхностью водоёма и его дном;

- расчёт изменения формы короткого радиоимпульса при рассеянии в городских условиях на основе статистической модели больших районов городской застройки, важный для анализа искажений кодированных сигналов, используемых в системах мобильной связи.

Во всех указанных выше случаях корпускулярный метод Монте-Карло представляет собой по существу единственный относительно простой способ корректного расчёта многократного рассеяния волн, позволяющий получить физически интересные и практически важные результаты.

Заявленной целью диссертации являлся анализ временных и энергетических характеристик сигналов при многократном рассеянии в хаотических средах и системах численным методом на основе корпускулярного статистического моделирования Монте-Карло.

При этом автором диссертации были решены следующие задачи:

1. Для мутной среды с неоднородным распределением показателя поглощения выполнено численное моделирование методом Монте-Карло формы первоначально

короткого оптического импульса и функции пространственного распределения траекторий фотонов в этой среде, излучённых источником и попавших в приёмник.

2. Произведено численное восстановление эффективных (усреднённых) оптических параметров неоднородной рассеивающей среды.

3. Предложена схема диагностики распределения в пространстве показателя поглощения биологической рассеивающей среды по данным времяразрешенной диффузионной рефлектометрии.

4. Выполнен численный расчёт корпускулярным методом Монте-Карло средней плотности энергии волнового поля в плоском волноводе, образованном горизонтальными шероховатыми отражающими поверхностями, в зависимости от горизонтального расстояния между источником и областью регистрации при различных параметрах системы.

5. Тем же методом проанализировано распределение усреднённой плотности энергии излучения по высоте внутри волновода на заданном горизонтальном расстоянии от источника.

6. Произведено численное моделирование модифицированным корпускулярным методом Монте-Карло распространения первоначально короткого импульса в плоском волноводе с плавными шероховатыми границами при бистатистическом зондировании. Проанализированы временные характеристики принимаемого сигнала при многократном отражении и скользящем распространении.

7. Выполнено статистическое моделирование корпускулярным методом Монте-Карло энергетического спектра задержек принимаемого сигнала в случае распространения первоначально короткого радиоимпульса в городских условиях при учёте многократных отражений от стен зданий и дифракции волн на их крышах.

Научная новизна работы состоит в постановке ряда нерешенных ранее задач, разработке методов численного анализа, а также в полученных оригинальных результатах.

1. Впервые проведено Монте-Карло моделирование формирования сигнала в системе оптической диффузионной рефлектометрии, использующей импульсное зондирующее излучение, для среды со слоистым распределением показателя поглощения.

2. Предложен оригинальный корпускулярный алгоритм численного расчета энергетических характеристик волнового поля, позволяющий промоделировать распространение некогерентных волн в плоском волноводе с шероховатыми границами методом Монте-Карло и впервые учесть влияние многократных отражений, случайных затенений участков граничных поверхностей неровностями и дифракции волн на вершинах неоднородностей.

3. Впервые численно проанализированы временные характеристики принимаемого сигнала при распространении первоначально короткого импульса в плоском волноводе с шероховатыми границами в случае многократного отражения и скользящего распространения.

4. С помощью корпускулярного метода Монте-Карло впервые выполнен численный расчёт формы рассеянного в городских условиях первоначально короткого радиоимпульса с учётом многократных отражений и дифракции волн на крышах городских строений.

Очевидны теоретическая и практическая значимость исследования, заключающиеся в следующем.

Полученные в диссертации результаты показывают, что метод статистического моделирования Монте-Карло, основанный на корпускулярном представлении волнового поля, позволяет корректно выполнить численный расчёт различных статистических характеристик некогерентного излучения, при многократном рассеянии в различных хаотических средах и системах.

Рассчитанные в диссертации статистические характеристики оптического излучения в мутной среде с неоднородным распределением показателя поглощения могут быть полезны для совершенствования оптической диффузионной рефлектометрии с целью диагностики областей с повышенным кровенаполнением биологических тканей.

Выполненный в диссертации анализ энергетических и временных характеристик сигналов в плоском волноводе с шероховатыми границами важен для расчёта и диагностики подводных звуковых каналов.

Расчет зависимости энергетического спектра задержек радиосигнала от условий распространения в городе и усреднённых параметров городской застройки полезен для оценки характеристик каналов передачи в системах мобильной связи.

Степень обоснованности научных положений, вынесенных на защиту, определяется соответствием корпускулярного метода статистического моделирования Монте-Карло основным законам прямолинейного распространения, многократного рассеяния и поглощения волновых полей различной физической природы, а также учётом дифракционных эффектов на препятствиях с помощью введения случайных возмущений углов рассеяния. Принципиальным в этом смысле является получение усреднённых оценок статистических параметров рассеянного поля в условиях нормализации случайного процесса, сформированного большим числом актов многократного рассеяния.

Достоверность полученных численных результатов подтверждается совпадением в частных случаях с известными в литературе теоретическими зависимостями, а также с выведенными в диссертации аналитическими формулами.

Основные положения и результаты диссертационного исследования опубликованы в 14 работах, в том числе 5 статьях в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК. Материалы диссертации докладывались: на двух всероссийских и семи региональных научных конференциях.

На мой взгляд, основным достоинством диссертации является убедительное подтверждение на конкретных примерах того, что метод статистического моделирования Монте-Карло, основанный на корпускулярном представлении волнового поля, позволяет корректно выполнить численный расчёт различных статистических характеристик некогерентного излучения при многократном

рассеянии в различных хаотических средах и системах без привлечения каких-либо электродинамических (или акустических) соотношений. Что, собственно, и отражено в пяти защищаемых положениях диссертации.

Также необходимо сделать ряд замечаний.

1. Считаю неудачной формулировку цели работы: «Целью диссертационной работы является анализ временных и энергетических характеристик сигналов при многократном рассеянии в хаотических средах и системах численным методом на основе корпускулярного статистического моделирования Монте-Карло». Общепринято считать, что анализ не может быть самоцелью, анализ проводится для чего-то. Лучшей формулировкой цели работы, на мой взгляд, было бы «Развитие численного метода на основе корпускулярного статистического моделирования Монте-Карло для его применения в решении задач анализа временных и энергетических характеристик сигналов при многократном рассеянии в хаотических средах и системах».

2. В списке литературы самые поздние ссылки по каждому из разделов работы делаются на публикации соискателя от 2014 до 2019 года соответственно. Притом, что имеется большое количество более свежих публикаций различных авторов по каждой из рассмотренных в диссертации проблем. Это обстоятельство, с одной стороны, подчёркивает актуальность исследования, с другой стороны, снижает ценность представленного в диссертации обзора текущего состояния и последних достижений исследований по теме диссертации. Однако сделанный соискателем обзор источников вполне достаточен для подтверждения новизны полученных им результатов на момент опубликования.

3. По первой главе диссертации сделан в числе других вывод: «Оптическая диффузионная рефлектометрия (ОДР) с использованием импульсных источников позволяет не только формировать изображения сильно рассеивающих сред и регистрировать динамику относительных изменений параметров исследуемой среды, но также получать количественную информацию об этих параметрах». Однако этот вывод в отношении метода ОДР для неинвазивного мониторинга динамики кровенаполнения различных участков коры головного мозга не следует из содержания первой главы диссертации по двум причинам.

Во-первых, в тексте главы указано, что длительность оптического импульса должна быть не более 1 наносекунды. Пространственная протяжённость такого импульса составит 300 мм, что делает импульс длительностью 1 нсек эквивалентным непрерывному излучению для такого объекта как голова человека. Для получения временного разрешения структуры головного мозга требуются оптические импульсы, как минимум, на порядок более короткие. При этом формулы (1.14) и (1.15) справедливы для сигналов в виде δ - импульса, но для сигналов большей длительности необходимо вычислять свёртку с формой импульса (по формуле Грина).

Во-вторых, рассмотренная в первой главе диссертации модель объекта исследования предполагает наличие поглощающего слоя в толще более прозрачной среды с простой внешней границей (рис. 1.10). Однако из курса анатомии для

студентов медицинских специальностей легко узнать, что строение головы человека намного сложнее. Череп человека покрыт тремя внешними слоями, кости черепа имеют структуру типа «сэндвич» и между наружным и внутренним сплошными костными слоями имеется ячеистая структура. Ткани головного мозга отделены от внутренней поверхности черепа жёсткой и мягкой оболочками головного мозга.

Таким образом, рассмотренная в первой главе диссертации модель представляется очень упрощенной, а полученные с её помощью результаты являются предварительными и имеют, скорее, методическое значение.

4. В четвёртой главе диссертации с помощью формул (4.9) и (4.10) даётся определение «энергетического спектра задержек». Для определяемой формулами (4.9) и (4.10) функции $\Psi(Z)$ я нахожу такое название неудачным. Оно привело к таким странным терминам как «ширина полного сигнала» и «задний фронт энергетического спектра задержек». С учётом формулы (4.13), в которой вычисляется свёртка «энергетического спектра задержек» $\Psi(Z-Z')$ с формой входного сигнала, было бы логичнее определить функцию $\Psi(Z)$ как импульсную характеристику канала по мощности. Отмечу также, что формулы (4.13) и (4.14) математически тождественны для импульса длительностью Z_0 с прямоугольной огибающей без каких-либо дополнительных условий.

Несмотря на сделанные мной замечания, считаю, что диссертация М.С. Жукова является завершённым научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям, изложенным в пп. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени кандидата наук. Таким образом, автор диссертации, Жуков Михаил Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Я, Канаков Владимир Анатольевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



« 18 » октября 2022 г.

Отзыв составил:

Канаков Владимир Анатольевич, д.ф.-м.н. (01.04.03 – радиофизика, 2011 г.), доцент, неработающий пенсионер с 31.01.2022 г.

Адрес регистрации: 603093, Нижний Новгород, ул. Кудьминская, 4-58

Телефон: (8) 960-191-1220

эл. почта: kanakov57@yandex.ru

Российская Федерация
Город Нижний Новгород

Восемнадцатого октября две тысячи двадцать второго года

Я, Табакова Татьяна Игоревна, нотариус города областного значения Нижнего Новгорода, свидетельствую подлинность подписи Канакова Владимира Анатольевича.

Подпись сделана в моем присутствии.

Личность подписавшего документ установлена.

Зарегистрировано в реестре: № 52/176-н/52-2022-3-991.

Уплачено за совершение нотариального действия: 1226 руб. 00 коп.



Т.И.Табакова



Прошнуровано, пронумеровано
и скреплено печатью

лист

листов
Нотариус