

**ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

Факультет компьютерных наук

Департамент программной инженерии

**СОГЛАСОВАНО**

Доцент департамента математики на  
факультете экономических наук, к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ В. Л. Чернышев  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Академический руководитель  
образовательной программы  
«Программная инженерия»  
профессор департамента  
программной инженерии, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ В.В. Шилов  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**Программная реализация алгоритма построения правил квантования  
для метрических графов**

**Техническое задание**

**ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ  
RU.17701729.503390-01 ТЗ 01-1-ЛУ**

Инв. № подл.	Подп. и дата
RU.17701729.5033 90-01 ТЗ 01-1-ЛУ	
Взам. Инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	

Исполнитель  
студент группы БПИ152  
\_\_\_\_\_/Соловьев Е.А./  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

УТВЕРЖДЕНО

RU.17701729.503390-01 ТЗ 01-1-ЛУ

**Программная реализация алгоритма построения правил квантования для  
метрических графов**

Техническое задание  
RU.17701729.503390-01 ТЗ 01-1

**Листов 19**

<i>Инв. № подл.</i>	<i>Подп. и дата</i>	<i>Взам. Инв. №</i>	<i>Инв. № дубл.</i>	<i>Подп. и дата</i>
RU.17701729.5033 90-01 ТЗ 01-1				

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение .....	4
1.1. Наименование программы .....	4
1.2. Краткая характеристика области применения. ....	4
2. Основания для разработки .....	5
2.1. Документы, на основании которых ведется разработка .....	5
2.2. Наименование темы разработки .....	5
3. Назначение разработки .....	6
3.1. Функциональное назначение .....	6
3.2. Эксплуатационное назначение .....	6
4. Требования к программе .....	7
4.1. Требования к функциональным характеристикам .....	7
4.1.1. Требования к составу выполняемых функций .....	7
4.1.2. Требования к организации входных данных .....	7
4.1.3. Требования к организации выходных данных .....	7
4.2. Требования к интерфейсу .....	7
4.3. Требования к алгоритму и к формату входных и выходных данных .....	9
4.4. Требование к надежности .....	9
4.5. Условия эксплуатации .....	10
4.6. Требования к составу и параметрам технических средств .....	10
4.7. Требования к информационной и программной совместимости .....	11
4.7.1. Требования к исходному коду .....	11
4.7.2. Требования к программным средствам, используемым программой .....	11
4.7.3. Требования к защите информации и программы .....	11
4.8. Требования к маркировке и упаковке .....	11
5. Требования к программной документации .....	12
5.1. Предварительный состав программной документации .....	12
5.2. Специальные требования к программной документации .....	12
6. Техничко-экономические показатели .....	13

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

7. Стадии и этапы разработки .....	13
8. Порядок контроля и приёмки.....	15
9. Приложения .....	16
9.1. Используемые понятия и определения .....	16
9.2. Список используемой литературы .....	18

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

### **1.1. Наименование программы**

Наименование программы – «Программа для построения правил квантования для метрических графов».

### **1.2. Краткая характеристика области применения.**

«Программа для построения правил квантования для метрических графов» - программа, реализующая алгоритм построения правил квантования для метрических графов, описанный в статье В. Л. Чернышева и А. И. Шафаревича «Квазиклассический спектр оператора Шрёдингера на геометрическом графе» [1].

Задача программы заключается в обеспечении возможности построить соответствующие правила для заданного пользователем графа.

Решение данной задачи может использоваться исследователями, работающими в различных областях математической физики при рассмотрении спектральных задач на геометрических графах.

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

## **2. ОСНОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ**

### **2.1. Документы, на основании которых ведется разработка**

1) Приказ Национального исследовательского университета "Высшая школа экономики" «Об утверждении тем, руководителей курсовых работ студентов образовательной программы Программная инженерия факультета компьютерных наук» от 11.12.15 № 6.18.1-02/1112-19.

### **2.2. Наименование темы разработки**

Наименование темы разработки – «Программная реализация алгоритма построения правил квантования для метрических графов» (Program Implementation of the Algorithm for Quantization Rules Constructing for Metric Graphs).

Программа выполнена в рамках темы курсовой работы в соответствии с учебным планом подготовки бакалавров (Национальный исследовательский университет – Высшая школа экономики, факультет компьютерных наук, департамент программной инженерии), по направлению 09.03.04 «Программная инженерия».

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

### **3. НАЗНАЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ**

#### **3.1. Функциональное назначение**

Функциональное назначение программы – построение аналога правил квантования Бора-Зоммерфельда для метрических графов с помощью алгоритма, описанного в статье В. Л. Чернышева и А. И. Шафаревича, «Квазиклассический спектр оператора Шрёдингера на геометрическом графе» [1].

#### **3.2. Эксплуатационное назначение**

Программа предназначена для нахождения правил квантования для заданных геометрических графов. Она позволяет решать задачи, возникающие как при составлении теоретических моделей, так и при обработке экспериментально полученных данных, например, при изучении стационарных состояний электронов в молекуле.

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

## **4. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММЕ**

### **4.1. Требования к функциональным характеристикам**

#### **4.1.1. Требования к составу выполняемых функций**

Программа должна обеспечивать возможность выполнения перечисленных ниже функций:

- 1) Выбор файла с описанием графа для открытия или редактирования.
- 2) Выбор файла, в который будет записано описание графа.
- 3) Задание метрического графа с помощью графического интерфейса и сохранение его описания в файл.
- 4) Анализ графа на корректность (связность и непрерывность функции).
- 5) Получение результата в виде текста, описывающего правила квантования данного графа.

#### **4.1.2. Требования к организации входных данных**

Программа должна предоставлять возможность открытия файла с расширением .gr (формат для представления графа в компьютере), в котором описан граф с не более чем 200 вершинами и/или 250 рёбрами.

#### **4.1.3. Требования к организации выходных данных**

Программа должна позволять сохранять правила квантования в текстовый файл формата .txt.

### **4.2. Требования к интерфейсу**

Интерфейс приложения должен представлять собой обычный Windows-интерфейс.

В программе должно быть размещено главное окно, с которого начинается её работа, и которое позволяет задать граф для обработки.

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения



Его необходимые элементы:

- 1) Кнопка, позволяющая создать новый граф.
- 2) Кнопка, вызывающая окно выбора файла для открытия.
- 3) Кнопка, вызывающая окно выбора файла для сохранения.
- 4) Рабочая область, представляющая собой поле, на котором возможно отмечать новые вершины графа, и отображающая рёбра (и их длины) и вершины текущего графа.
- 5) Кнопки, вызывающие окна для удаления какой-либо вершины и ребра соответственно.
- 6) Кнопка, позволяющая сохранить визуальное представление графа в графический формат PNG.
- 7) Кнопка, позволяющая добавить ребро на граф.
- 8) Кнопка, позволяющая запустить процесс построения правил квантования для описанного графа.
- 9) Кнопки, позволяющие изменить размер рабочей области.
- 10) Ползунок, позволяющий изменить параметр  $\lambda$ .
- 11) Кнопка, вызывающая окно настроек программы.

Окно настроек программы должно позволять:

- 1) Указать минимальное и максимальное значение  $\lambda$ , из которых можно выбирать значение данного параметра в основной программе.
- 2) Указать точность, с которой будут сравниваться вычисляемые в процессе работы программы выражения в Maple.
- 3) Указать путь к исполняемому файлу интерпретатора Maple.

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

Программа должна иметь интерфейс на английском языке.

#### **4.3. Требования к алгоритму и к формату входных и выходных данных**

В программе используется алгоритм, описанный в статье «Квазиклассический спектр оператора Шрёдингера на геометрическом графе» [1].

Входные файлы должны иметь формат .gr (совместимый с текстовым форматом .txt), который требуется разработать для данной программы. В нём должна быть предусмотрена возможность хранения графа с координатами вершин, длинами рёбер и информацией о функции на графе.

Выходной файл – текстовый файл формата .txt, описывающий правила квантования для метрического графа. Для каждой компоненты связности изменённого в ходе работы алгоритма графа должен быть выписан натуральный вид правила квантования, а если для компоненты связности выполняется неравенство  $2k-i < 10$ , где  $k$  – число рёбер, а  $i$  – число висячих вершин – ещё и обычный вид правила квантования.

#### **4.4. Требования к надежности**

Для корректной работы программы необходима устойчивая работа компьютера, на котором она запущена, а также устойчивая работа его операционной системы и математического пакета Maple версии 18 или 2015.

Программа должна обрабатывать все исключительные ситуации, такие как:

- Ошибка доступа к файлу, задающему граф, или некорректность содержащихся в нём данных.
- Ошибка записи результата работы в выходной текстовый файл.
- Другие ошибки, обусловленные некорректностью задаваемого графа (например, заданная на нём функция не является непрерывной) или

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

ошибками, обусловленными внутренними ошибками математического пакета Maple.

#### **4.5. Условия эксплуатации**

Программа не требует условий эксплуатации, более сложных чем те, которые предъявляются к эксплуатации персональных компьютеров и их компонентов.

Программа не требует специального обслуживания. Пользователь приложения должен обладать навыками использования графического интерфейса операционной системы Windows и математического пакета Maple на уровне умения задания функций с помощью синтаксиса Maple, иметь базовые знания английского языка и основных понятий, связанных с функциями одной переменной (функция, область определения, непрерывность, гладкость).

#### **4.6. Требования к составу и параметрам технических средств**

Для бесперебойной стабильной работы необходим персональный компьютер со следующими характеристиками:

- 1) Процессор Pentium с частотой 1 ГГц или более быстрый (рекомендуется не менее 1.5 ГГц).
- 2) Не менее 1 ГБ оперативной памяти (рекомендуется не менее 2 ГБ) для компьютера с 32-битным процессором и не менее 2 ГБ оперативной памяти (рекомендуется не менее 4 ГБ) для компьютера с 64-битным процессором.
- 3) Не менее 50 МБ свободного места на жёстком диске.
- 4) Дисковод для компакт- или DVD-дисков.
- 5) Клавиатура, мышь или совместимое указывающее устройство.
- 6) Видеокарта и монитор, поддерживающие режим Super VGA с разрешением не менее чем 800x600 точек.

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

Данные минимальные требования к процессору и оперативной памяти обусловлены системными требованиями математического пакета Maple 2015/18 [2] и требованиями операционной системы Microsoft Windows 7 [3].

#### **4.7. Требования к информационной и программной совместимости**

##### **4.7.1. Требования к исходному коду**

- 1) программа должна быть реализована на языке C# 6.0;
- 2) среда программирования – Microsoft Visual Studio 2015;
- 3) при разработке программы должна быть использована платформа .NET Framework версии не старше 4.5.2.

##### **4.7.2. Требования к программным средствам, используемым программой**

- 1) операционная система Microsoft Windows 7 и новее;
- 2) установленный Microsoft .NET Framework 4.5.2 и новее;
- 3) установленный математический пакет Maple версии 18 или 2015.

##### **4.7.3. Требования к защите информации и программы**

Требования к защите программы и информации не предъявляются.

#### **4.8. Требования к маркировке и упаковке**

Приложение распространяется на компакт диске (CD), флэш носителе или посредством сети Интернет. Диск должен быть обязательно подписан "Курсовая работа, ФИО, группа, 2016". В корне носителя должен быть файл readme.txt с указанием этой информации. Для работы программы не требуется установка.

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

## **5. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

### **5.1. Предварительный состав программной документации**

В процессе разработки должны быть созданы следующие документы:

- 1) «Программная реализация алгоритма построения правил квантования для метрических графов». Техническое задание (ГОСТ 19.201-78);
- 2) «Программная реализация алгоритма построения правил квантования для метрических графов». Текст программы (ГОСТ 19.401-78);
- 3) «Программная реализация алгоритма построения правил квантования для метрических графов». Пояснительная записка (ГОСТ 19.404-79);
- 4) «Программная реализация алгоритма построения правил квантования для метрических графов». Программа и методика испытаний (ГОСТ 19.301-78);
- 5) «Программная реализация алгоритма построения правил квантования для метрических графов». Руководство оператора (ГОСТ 19.505-79).

### **5.2. Специальные требования к программной документации**

- 1) вся документация должна быть составлена согласно ЕСПД (ГОСТ 19.101-77, 19.104-78, 19.105-78, 19.106-78 и ГОСТ к соответствующим документам (см. выше)) [4];
- 2) вся документация сдаётся в печатном виде с подписанными листами утверждения;
- 3) вся документация сдаётся в электронном виде в составе курсовой работы в систему LMS НИУ ВШЭ.

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

## 6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Технико-экономические показатели не рассчитывались.

## 7. СТАДИИ И ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ

### 1. Техническое задание

#### 1.1.Обоснование необходимости разработки программы

1.1.1. Постановка задачи

1.1.2. Сбор исходных материалов

1.1.3. Выбор и обоснование критериев эффективности и качества  
разрабатываемой программы

#### 1.2.Научно-исследовательские работы

1.2.1. Определение структуры входных и выходных данных

1.2.2. Предварительный выбор методов решения задач

#### 1.3.Разработка и утверждение технического задания

1.3.1. Определение требований к программе

1.3.2. Определение стадий, этапов и сроков разработки программы и  
документации на неё

1.3.3. Согласование и утверждение технического задания

### 2. Технический проект

#### 2.1.Разработка технического проекта

2.1.1. Уточнение структуры входных и выходных данных

2.1.2. Разработка алгоритма решения задачи

2.1.3. Определение формы представления входных и выходных данных

2.1.4. Разработка структуры программы

#### 2.2.Утверждение технического проекта

2.2.1. Разработка пояснительной записки

2.2.2. Согласование и утверждение технического проекта

### 3. Рабочий проект

#### 3.1.Разработка программы

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

### 3.1.1. Программирование и отладка программы

## 3.2. Разработка программных документов

### 3.2.1. Разработка программных документов в соответствии с требованиями ГОСТ 19.101-77

## 3.3. Испытания программы

### 3.3.1. Разработка, согласование и утверждение программы и методики испытаний

### 3.3.2. Корректировка программы и программной документации по результатам испытаний

## 4. Внедрение

### 4.1. Подготовка и передача программы

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

## 8. ПОРЯДОК КОНТРОЛЯ И ПРИЁМКИ

Контроль и приёмка программного продукта осуществляются в соответствии с документом «Программная реализация алгоритма построения правил квантования для метрических графов». Программа и методика испытаний (ГОСТ 19.301-79).

В этом документе должны быть указаны:

- 1) функциональные возможности программы и предъявляемые к ним требования;
- 2) список необходимой документации и предъявляемые к ней требования;
- 3) порядок проверки требований к интерфейсу.

Проведение испытаний должно закончиться за две недели до защиты курсовой работы, то есть до 14 мая 2016 года.

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения



## 9. ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1. Используемые понятия и определения

Граф (могут использоваться также понятия метрический граф, геометрический граф) – совокупность множества вершин  $V$  и множества рёбер  $E$ . Ребра имеют направления и представляют собой отрезки регулярных кривых. Ребро соединяет две вершины, и направление указывает, какая из них является начальной, а какая – конечной. Каждое ребро имеет длину, выражаемую положительным числом. Не исключаются петли – ребра, для которых начальная и конечная вершины совпадают. Не исключаются кратные рёбра – рёбра, соединяющие одни и те же пары вершин. Рассматриваются только конечные графы, то есть графы с конечным числом рёбер и вершин.

Инцидентность. Ребро  $e$  и вершина  $v$  называются инцидентными, если начальная или конечная вершина ребра  $e$  есть вершина  $v$ .

Соседние с вершиной рёбра – множество рёбер, для которых начальная или конечная вершина совпадает с некоторой наперёд заданной вершиной.

Слабая связность графа. Граф называется слабо-связным, если для любых двух его вершин существует конечная последовательность рёбер, ведущая из первой вершины во вторую, при условии, что по каждому ребру можно двигаться в любом направлении.

Подграф – граф, состоящий из подмножества вершин данного графа и рёбер, соединяющих их.

Компонента связности – максимальный по числу вершин подграф графа, являющийся слабо-связным.

Степень вершины – совокупное количество входящих и выходящих из вершины рёбер (петля считается за два ребра).

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

Висячая вершина – вершина степени один.

Функция на ребре (может использоваться также понятие потенциала) – непрерывное отображение, ставящее в соответствие каждой точке графа действительное число. Обычно обозначается  $V(x)$ . В данной работе задание функции производится кусочно: на каждом ребре  $j$  задаётся действительнзначная функция  $V_j(x)$ , определённая на некотором интервале, принадлежащем действительной оси. Тогда значения функции для точек, лежащих на данном ребре, находятся просто как значения соответствующей функции  $V_j(x)$ . Требуется, чтобы все функции  $V_j(x)$  были гладкими на рёбрах (гладкая функция – функция, имеющая непрерывную производную на области определения). Непрерывность функции на графе в целом в данном случае означает, в дополнение к наложенному условию гладкости функций на рёбрах, то, что если какой-либо вершине инцидентно несколько рёбер, то значения соответствующих этим рёбрам функций  $V_j(x)$  в точках, соответствующих этой вершине, совпадают.

Правила квантования для метрических графов – правила, позволяющие находить собственные значения оператора Шрёдингера, определённого на графе. Они представляют собой аналоги правил квантования Бора-Зоммерфельда (применяемые в квантовой механике для нахождения квазиклассических спектральных серий), представляющие собой равенство некоторых выражений (чаще всего это некоторые интегралы), зависящих от искомым собственных значений, целым неотрицательным числам. Алгоритм построения правил квантования для метрических графов описан в статье [1]. Данная работа представляет собой себя программную реализацию этого алгоритма.

Условие трансмиссии – условие равенства нулю линейной комбинации производных функций на рёбрах, примыкающих к заданной вершине, в этой вершине.

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

Условия Кирхгофа. Условия трансмиссии представляют собой условия Кирхгофа, если коэффициенты в условиях трансмиссии имеют положительный знак для выходящих из вершин рёбер, и отрицательный для входящих рёбер.

Условия трансмиссии назовём натуральными, если они имеют вид Кирхгофа, причём все коэффициенты в них равны по модулю. Если условия трансмиссии являются натуральными, рассматриваемый дифференциальный оператор на графе является самосопряжённым.

Параметр  $\phi$  – параметр, определяемый для ребра как  $\phi_j = \frac{1}{h} \int_a^b \sqrt{\lambda - V_j(x)} dx$  – здесь интеграл берётся по ребру, а  $h$  – параметр, пропорциональный постоянной Планка, формальная константа без определяемого в программе численного значения.

## Приложение 2. Список используемой литературы

1. В. Л. Чернышев Квазиклассический спектр оператора Шрёдингера на геометрическом графе / В. Л. Чернышев, А. И. Шафаревич // Матем. заметки, 82:4 (2007), 606–620.
2. Системные требования ОС Windows 7. [Электронный ресурс] // URL: <http://windows.microsoft.com/systemrequirements?4bcfd458> (Дата обращения: 15.05.2016, режим доступа: свободный).
3. Maple 2015 Installation and Licensing Guide. [Электронный ресурс] // URL: [http://www.maplesoft.com/support/install/maple2015\\_install.html#MapleInstallGuide\\_SysReq](http://www.maplesoft.com/support/install/maple2015_install.html#MapleInstallGuide_SysReq) (Дата обращения: 15.05.2016, режим доступа: свободный).
4. Единая система программной документации – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения

[illegible]

Номер изменения	Подпись ответственного за внесение изменения	Дата внесения изменения