МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования

«Тверской государственный университет»

Факультет прикладной математики и кибернетики

Кафедра математической статистики и системного анализа

Направление 01.03.02 – Прикладная математика и информатика

Профиль «Системный анализ, исследование операций и управление»

**Отчет**

**по итогам производственной практики**

**(преддипломной практики)**

**2017-2018 уч. год, 8 семестр**

**Автор**: студент 4 курса

Доронин Виталий Евгеньевич

**Научный руководитель**:

кандидат физико-математических наук

Бобышев Владимир Николаевич

**Оценка**: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(подпись)

Тверь, 2018

Оглавление

[*Введение* 3](#_Toc514870695)

[*Постановка задачи* 3](#_Toc514870696)

[*Заключение* 4](#_Toc514870697)

# 

# Введение

Во время прохождения преддипломной практике я занимался разработкой алгоритма численного моделирования изменения температуры при фазовом переходе. Тема моей выпускной работы: «Численный анализ тепловых процессов с учетом фазового перехода с использованием метода сеток».

Первой работой в данной области считают статью Г. Ламе и Б. П. Клапейрона «Об отвердевании охлаждающегося жидкого шара» 1831 года, в которой было установлено, что толщина твердой фазы, образующейся при затвердевании однородной жидкости, пропорциональна . Значительно позже в 1889 году австрийский физик и математик Йозеф Стефан опубликовал четыре статьи, посвященные задачам с фазовыми переходами. Впоследствии задачи данного класса с подвижными межфазными границами стали называть задачами Стефана. В своих работах он сформулировал и решил задачи, определяющие процессы теплопроводности и диффузии для однофазной или двухфазной областей. Кроме того, Й. Стефан сформулировал уравнение теплового баланса на границе раздела фаз с учетом скрытой теплоты, и теперь подобные условия сопряжения фаз принято называть условиями Стефана.

# Постановка задачи

Рассматривался процесс замерзания воды, при котором температура фазового перехода равна нулю. Рассматривалась массу воды , ограниченную с одной стороны плоскостью . В начальный момент вода обладает постоянной температурой . Если на поверхности всё время поддерживается постоянная температура , то граница замерзания будет со временем проникать вглубь жидкости.

Задача о распределении температуры при наличии фазового перехода и о скорости движения границы раздела фаз (например, внутри замерзающей воды) сводится к решению уравнений

(I)

с дополнительными условиями

(II)

и условиями на границе замерзания

, (III)

*, (IV)*

где – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности твердой и, соответственно, жидкой фаз.

Задачу (I) – (IV) часто называют задачей Стефана, задачей о фазовом переходе или задачей о промерзании.

Решение задачи

Решение задачи было реализовано в интегрированной среде разработки R-Studio с открытым исходным кодом на языке программирования R, предназначенного для статистической обработки данных и работы с графикой. R широко используется как статистическое программное обеспечение для анализа данных и фактически стал стандартом для статистических программ.

В процессе исследования явления фазового перехода использовались следующие источники:

1) Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики, Москва, 1977 c. 259 – 264, 617-619

2) Самарский А.А. Теория разностных схем, Москва, 1977, c.68 – 71

3) Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы, Москва «Наука» // главная редакция физико-математической литературы, 1989, c.34 – 36

4) https://ru.wikipedia.org/wiki/Задача\_Стефана

5) Rishi K.G. Multiphysics Modeling of Selective Laser Sintering/Melting, 2015, c. 40-42

Было получено численное решение задачи Стефана, и соотнесено с аналитическим решением, полученным в программном пакете, системе компьютерной математики Maple, предназначенном для символьных вычислений.

# Заключение

Сравнив результаты, мы пришли к выводу, что численное решение приближается к аналитическому. Но, так как аналитически задача решалась на полубесконечной плоскости, а для численного решения требуются граничные условия, результаты сходятся только до n-го момента времени.