**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»**

**(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Направление** | 01.03.02 – Прикладная математика и информатика | |
| **Факультет** | КТИ | |
| **Кафедра** | МОЭВМ | |
| *К защите допустить* |  | |
| Зав. кафедрой |  | Кринкин К.В. |

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

БАКАЛАВРА

Тема: РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Студент |  |  |  | Федоров А.М. |
|  |  | *подпись* |  |  |
| Руководитель | доцент |  |  | Жукова Н.А. |
|  | *(Уч. степень, уч. звание)* | *подпись* |  |  |
| Консультант |  |  |  | Иванов И.И. |
|  | *(Уч. степень, уч. звание)* | *подпись* |  |  |

Санкт-Петербург

2016**ЗАДАНИЕ**

**на выпускную квалификационную работу**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Утверждаю | | | | | | | |
|  | | Зав. кафедрой МОЭВМ | | | | | | | |
|  | | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Кринкин К.В. | | | | | | | |
|  | | «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_\_ г. | | | | | | | |
| Студент | Федоров А.М. | | | | |  | Группа | 3381 | |
| Тема работы: Реализация различных методов оценки качества кластеризации данных | | | | | | | | | |
| Место выполнения ВКР: МОЭВМ | | | | | | | | | |
| Исходные данные (технические требования):  Реализовать методы оценки качества кластеризации и провести их анализ | | | | | | | | | |
| Содержание ВКР:  введение, современное состояние вопроса, описание исследования, результаты исследования, технико-экономическое обоснование, заключение, список использованных источников | | | | | | | | | |
| Перечень отчетных материалов: пояснительная записка, иллюстративный материал | | | | | | | | | |
| Дополнительный раздел: технико-экономическое обоснование | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| Дата выдачи задания | | | | Дата представления ВКР к защите | | | | | |
| «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_\_ г. | | | | «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_\_ г. | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |
| Студент | | |  | | Федоров А.М. | | | |
| Руководитель доцент | | |  | | Жукова Н.А. | | | |
| *(Уч. степень, уч. звание)* | | |  | |  | | | |
| Консультант | | |  | | Иванов И.И. | | | |
| *(Уч. степень, уч. звание)* | | |  | |  | | | |

**календарный план выполнения**

**выпускной квалификационной работы**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Утверждаю | | | |
|  | | Зав. кафедрой МОЭВМ | | | |
|  | | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Кринкин К.В. | | | |
|  | | «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_\_ г. | | | |
| Студент | Федоров А.М. | |  | Группа | 3381 |
| Тема работы: Реализация различных методов оценки качества кластеризации данных | | | | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование работ | Срок выполнения |
| 1 | Обзор литературы по теме работы | 03.01 – 07.01 |
| 2 | Генерация кластеризованных множеств | 08.01 – 10.01 |
| 3 | Реализация методов оценки качества кластеризации | 11.01 – 00.00 |
| 4 | Анализ методов оценки качества кластеризации | 00.00 – 00.00 |
| 5 | Оформление пояснительной записки | 00.00 – 00.00 |
| 6 | Оформление иллюстративного материала | 00.00 – 00.00 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент |  | Федоров А.М. |
| Руководитель доцент |  | Жукова Н.А. |
| *(Уч. степень, уч. звание)* |  |  |
| Консультант |  | Иванов И.И. |
| *(Уч. степень, уч. звание)* |  |  |

**РЕФЕРАТ**

Пояснительная записка 23 стр., 6 рис., 1 табл., 00 ист., 00 прил.

Объектом исследования являются методы оценки качества кластеризации.

Цель работы – реализовать различные методы оценки качества кластеризации и провести их анализ.

Для тестирования реализованных методов оценки качества кластеризации была написана программа, генерирующая множество точек на плоскости, разбитых на кластеры. При этом рассмотрены случаи различного качества кластеризации точек: высокий, средний и низкий уровни качества. Были реализованы различные методы оценки качества кластеризации. Затем было рассчитано время выполнения оценки качества с использованием различных методов в зависимости от таких параметров как количество кластеров, размерность пространства и количество объектов. По полученным значениям были построены графики, на основании которых было проведено сравнение эффективности методов.

**ABSTRACT**

The work is devoted to realization and assessment of different methods of clustering quality grade. To testing methods the program for generation of clustering sets was created. The clustering sets has different level of quality: high, medium and low. Then different methods of clustering quality grade were realized. Time of executing of this methods was calculated depending on such parameters as clusters count, space dimension and objects count. Based on calculated values of time graph were built. Then efficiency comparison of methods was made based on graphs.

**содержание**

[ВВЕДЕНИЕ 7](#_Toc472518689)

[1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА 8](#_Toc472518690)

[1.1. Общие сведения 8](#_Toc472518691)

[1.2. История вопроса 8](#_Toc472518692)

[1.3. Современные проблемы 10](#_Toc472518693)

[1.4. Пути решения проблем 11](#_Toc472518694)

[2. ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 12](#_Toc472518695)

[2.1. Описание генерации кластеризованных множеств 12](#_Toc472518696)

[2.2. Исследуемые методы оценки качества кластеризации 14](#_Toc472518697)

[2.3. Расчёт времени работы методов 15](#_Toc472518698)

[3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ 17](#_Toc472518699)

[3.1. Рассчитанные значения коэффициентов оценки качества кластеризации 17](#_Toc472518700)

[Кластеризацию можно считать успешной при значениях вышеперечисленных коэффициентов, близких к значениям вт 17](#_Toc472518701)

[3.2. Графики времени выполнения методов оценки качества кластеризации 17](#_Toc472518702)

[4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ 18](#_Toc472518703)

[4.1. Детализированный план работ 18](#_Toc472518704)

[4.2. Расчёт ожидаемой длительности работ 18](#_Toc472518705)

[4.3. Расчёт ставки заработной платы 19](#_Toc472518706)

[4.4. Расчёт расходов на заработную плату 19](#_Toc472518707)

[4.5. Расчёт отчислений на страховые взносы 20](#_Toc472518708)

[4.6. Расчёт затрат на содержание и эксплуатацию оборудования 20](#_Toc472518709)

[4.6. Совокупная величина затрат 21](#_Toc472518710)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 22](#_Toc472518711)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 23](#_Toc472518712)

# ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной работы определяется тем, что существует необходимость определять корректность разбиения множеств на кластеры с целью проверки того, что полученному результату можно доверять. На сегодняшний день существуют различные коэффициенты, расчёт которых позволяет оценить качество кластеризации. Основной целью работы является реализация методов, основанных на расчёте данных коэффициентов, с целью их анализа. В результате работы различные методы будут реализованы и протестированы, а также измерено время их выполнения при различных значениях количества кластеров, размерности пространства и количества объектов, что позволит определить, какие из методов являются наилучшими.

# 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

## 1.1. Общие сведения

Кластеризация (кластерный анализ) – совокупность математических методов, выполняющих разбиение заданной выборки объектов на подмножества, называемые кластерами, так, чтобы каждый кластер состоял из схожих объектов, а объекты разных кластеров существенно отличались.

Задачи кластеризации:

1. Понимание данных – разбиение выборки на группы позволяет упростить дальнейшую обработку данных и принятие решений, применяя к каждому кластеру свой метод анализа.
2. Сжатие данных – можно сократить исходную выборку, оставим по одному представителю от каждого кластера
3. Обнаружение новизны – выделение объектов, которые не удаётся присоединить ни к одному из кластеров.

Кластеризация может использоваться в таких областях, как:

1. Информатика – упрощение работы с информацией, визуализация данных, сегментация изображений, интеллектуальный поиск.
2. Экономика – анализ рынков и финансовых потоков, выделение закономерностей на фондовых биржах.
3. Маркетинг – сегментация рынков, анализ поведения потребителей
4. Лингвистика – восстановление эволюционного древа языков
5. Астрономия – выделение групп звёзд и галактик, автоматическая обработка снимков космоса.

## 1.2. История вопроса

Кластеризации предшествовала классификация – принцип распределения однородных объектов по группам по какому-либо общему признаку. Одна из первых работ, упорядочивающих процесс классификации – теория классификации и систематизации, предложенная французским ботаником Огюстеном Декандолем в 1813 году для классификации растений. Декандоль ставил своей целью описать и классифицировать все виды растений. Именно для этого им была разработана система классификации, в соответствии с которой каждое растение должно принадлежать к серии таксонов последовательно соподчинённых рангов (вид, род, семейство, класс, отдел), где таксон – это группа объектов, связанных общностью признаков. Данная теория получила название таксономия. Первоначально она использовалась исключительно в биологии, но позже она нашла применение и в других науках, имеющих дело со множествами иерархически организованных объектов.

Начало развития кластерного анализа как самостоятельной дисциплины относится к первой половине XX века. Одной из первых публикаций по теме кластеризации является статья польского антрополога Яна Чекановского, написанная в 1911 году. В этой статье он выдвигал идею о “структурной классификации”, содержащую основную мысль кластерного анализа - выделение групп близких объектов, а также некоторые способы выделения таких групп, которые легли в основу более поздних алгоритмов.

Следующим важным шагом в развитии кластеризации стал “метод корреляционных плеяд”, разработанный советским гидробиологом П.В. Терентьевым в 1925 году. Данный метод предназначался для кластерного анализа признаков, а не объектов. Идея метода заключалась в представлении признаков в виде вершин графа. Затем вершины соединяются рёбрами тогда и только тогда, когда коэффициент корреляции превосходит пороговое значение. Связанные компоненты такого графа и есть кластеры признаков.

Сам термин “кластерный анализ” был впервые введён и использован только в 1939 году английским учёным Трионом.

Большинство современных методов кластеризации были предложены в 1960-е годы. Это время характеризуется огромным количеством публикаций. В качестве основных можно перечислить работы следующих авторов: Г. Болла и Д. Холла, Д. Мак-Кина – по методам k-средних; Р.Сокала и Д. Снита, Г. Ланса и У. Уильямса, Н. Джардайна и Р. Сибсона – по иерархическим процедурам; Д. Роджеса и Т. Танимото, Э.М. Бравермана, А.А. Дорофеюка, И.Б. Мучника – по процедурам типа последовательного формирования кластеров и диагонализации. Эти и многие другие авторы сформировали математическую базу для применения кластерных методов в различных областях науки.

1970 годы характеризуются значительно меньшим количеством работ по созданию новых алгоритмов и методов. В это время осуществляются многочисленные попытки осмысления существующих алгоритмов и способов их применения.

После 1970-1980-х годов число публикаций по кластерному анализу падает, а его развитие продолжается в более тесном контакте с теми областями, где он используется. Основное направление развития в этот период – создание спецификаций существующих алгоритмов, наиболее подходящих для решения конкретных задач.

## 1.3. Современные проблемы

1. Проблема обоснования качества результатов кластеризации.

Процесс группировки носит субъективный характер. Один и тот же набор объектов может классифицироваться по-разному в зависимости от прикладной области, степени полноты информации об объектах и т.д.

1. Сложность формализации некоторых областей

Построение математических моделей некоторых областей затруднено, что приводит к тому, что использование алгоритмов расщепления смеси распределений (таких как EM-алгоритм) становится проблематичным.

1. Проблема анализа большого количества разнотипных признаков.

В случае разнотипного пространства возникает проблема определения в нём метрики. С другой стороны, даже в пространстве однотипных признаков при увеличении их числа точки могут стать неразличимыми. Так, расстояния от некоторой точки до ближайшей и наиболее удалённой точки могут практически совпадать в пространствах большой размерности.

1. Проблема поиска оптимального решения.

Многие алгоритмы не гарантируют, что найденное решение является оптимальным.

## 1.4. Пути решения проблем

1. Проблема обоснования качества результатов кластеризации.

Необходимо разрабатывать и применять методы оценки качества кластеризации, позволяющие максимально полно учитывать имеющиеся знания об объектах, например расчёт F1-меры.

1. Проблема анализа большого количества признаков.

Для проведения кластеризации в пространстве признаков высокой размерности можно воспользоваться алгоритмом CLIQUE, адаптированным под кластеризацию данных высокой размерности. Метод основан на том предположении, что если в многомерном пространстве данных распределение объектов не равномерно, то проекция региона плотности в подпространство с меньшей размерностью будет частью региона плотности в этом подпространстве. Алгоритм CLIQUE производит кластеризацию многомерного пространства данных следующим образом: пространство данных разбивается на не пересекающиеся ячейки фиксированного размера, среди них идентифицируются плотные ячейки – такие, плотность объектов данных в которых превышает заданное пороговое значение. Далее из найденных ячеек формируется пространство, в котором могут существовать плотные ячейки большей размерности. Процесс начинается с одномерных пространств (описанная процедура выполняется для каждого измерения) с последующим переходом к подпространствам более высокой размерности.

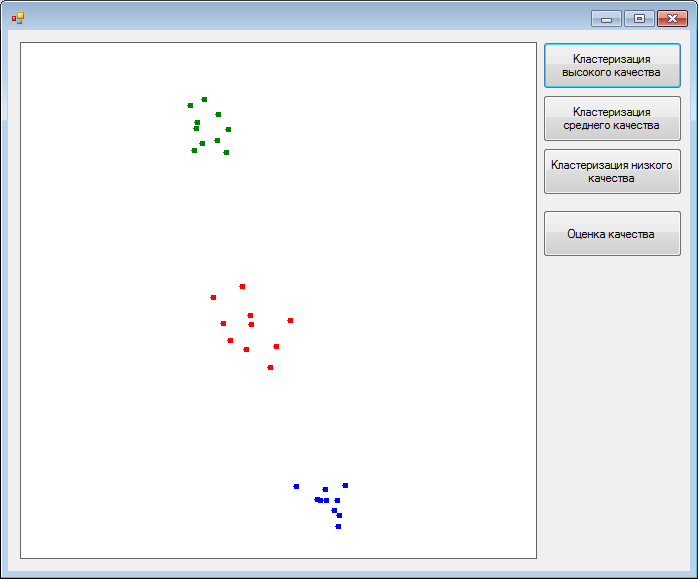
1. Проблема поиска оптимального решения.

Генетические (эволюционные) алгоритмы и нейронные сети позволяют найти оптимальное решение.

# 2. ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

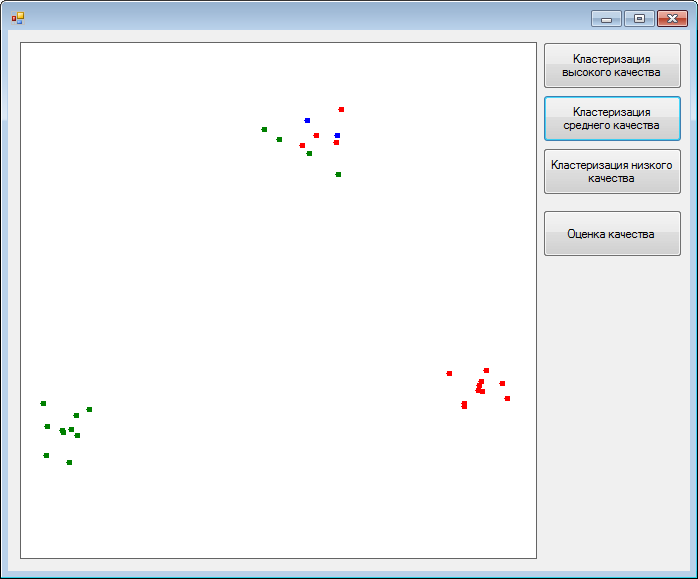
## 2.1. Описание генерации кластеризованных множеств

Для исследования методов оценки качества кластеризации была написана программа, генерирующая кластеризованные множества различного качества. Генерация работает следующим образом: случайным образом выбираются три точки на плоскости, затем внутри кругов с центрами в этих точках случайным образом генерируются 30 точек – по 10 в каждом круге.



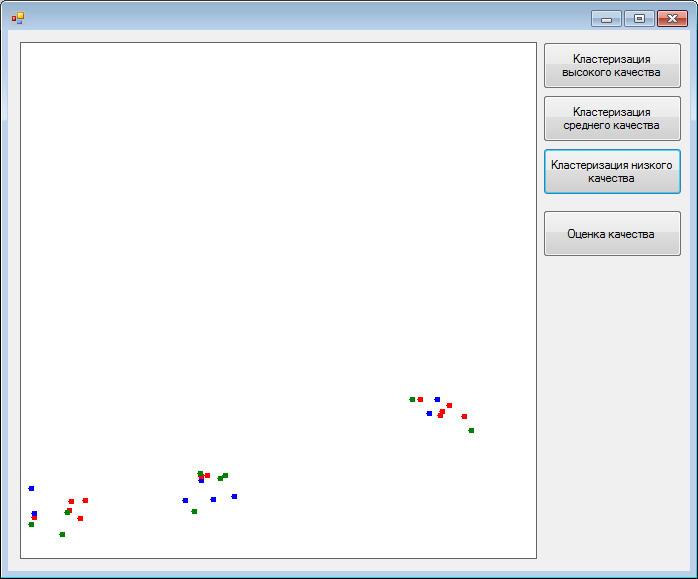
*Рисунок 1.Пример сгенерированного кластеризованного множества высокого качества.*

При выборе генерации кластеризованного множества высокого качества точки, сгенерированные внутри одного круга, относятся к одному кластеру. Пример такого множества представлен на рисунке 1.



*Рисунок 2. Пример сгенерированного кластеризованного множества среднего качества.*

При выборе среднего качества кластеризации точки, сгенерированные внутри двух кругов, относятся к двум кластерам аналогично случаю высокого качестства кластеризации. Для точек, сгенерированных внутри третьего круга, принадлежность к кластерам выбирается случайным образом. Пример представлен на рисунке 2.



*Рисунок 3. Пример сгенерированного кластеризованного множества низкого качества.*

При выборе низкого качества кластеризации принадлежность каждой точки к какому-либо кластеру определяется случайным образом. Пример представлен на рисунке 3.

## 2.2. Исследуемые методы оценки качества кластеризации

Были реализованы и исследованы следующие методы:

1. F1-мера

Для применения F1-меры необходима информация о классах кластеризуемых объектов. В качестве примера можно рассмотреть программную систему, распознающую автомобили и пешеходов. В данном случае имеются два класса: автомобили и пешеходы. При проведении кластеризации логично ожидать, что в результате получится два кластера, один из которых будет содержать только автомобили, а второй – только пешеходов. Для определения степени соответствия результата кластеризации ожидаемому результату и применяется расчёт F1-меры.

При расчёте F1-меры от сгенерированного кластеризованного множества в качестве классов будут взяты множества точек, сгенерированных в одном круге.

Для расчёта F1-меры необходимо рассчитать precession и recall для каждого кластера и каждого класса по следующим формулам:

где – количество таких объектов , таких что и ; ;

Тогда F1-мера для кластера и класса будет равна:

F1-мера для всего кластеризуемого множества равна:

1. Критерий Calinski-Harabasz

Для расчёта данного критерия используются средние квадраты расстояний между элементами для всего множества и для каждого кластера. Обозначим средний квадрат расстояний для всего множества как , а для кластера как

Для расчёта критерия Calinski-Harabasz необходимо рассчитать сумму квадратов расстояний внутри кластеров по формуле:

где c – количество кластеров, – количество элементов в i-ом кластере

Также необходимо рассчитать сумму квадратов расстояний между группами по формуле:

где с – количество кластеров, N – количество элементов во всём множестве,

Тогда критерий Calinski-Harabasz вычисляется по формуле:

## 2.3. Расчёт времени работы методов

Для каждого из методов оценки качества кластеризации было рассчитано время выполнения в зависимости от количества кластеров, размерности пространства и количества объектов. Методы выполнялись на специально сгенерированных множествах. При генерации множеств координаты объектов выбирались случайным образом из множества целых чисел от 0 до 1000. Принадлежность к кластерам также выбиралась случайным образом. Для анализа времени выполнения такого метода определения качества кластеризации, как расчёт F1-меры, также генерировалась информация о принадлежности объектов классам, при этом принадлежность каждого объекта к классу определялась случайным образом, а количество классов совпадало с количеством кластеров.

Были рассмотрены следующие случаи:

1. Размерность: 3, количество объектов: 1000, количество кластеров: 2, 3, ….10
2. Количество кластеров: 3, количество объектов: 1000, размерность: 1, 2, ….10
3. Количество кластеров: 3, размерность: 3, количество объектов: 1000, 2000, ….10000

Для каждого случая время работы метода было посчитано пять раз, после чего было рассчитано среднее значение, которое затем было записано в текстовый файл. Для каждого из методов был сформирован свой текстовый файл, который содержал значения времени во всех вышеперечисленных случаях. Затем полученные файлы были открыты в Microsoft Excel, и по ним были построены следующие графики:

1. Графики зависимости времени выполнения всех методов от количества кластеров в одной системе координат
2. Графики зависимости времени выполнения всех методов от размерности пространства в одной системе координат
3. Графики зависимости времени выполнения всех методов от количества объектов в одной системе координат

# 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 3.1. Рассчитанные значения коэффициентов оценки качества кластеризации

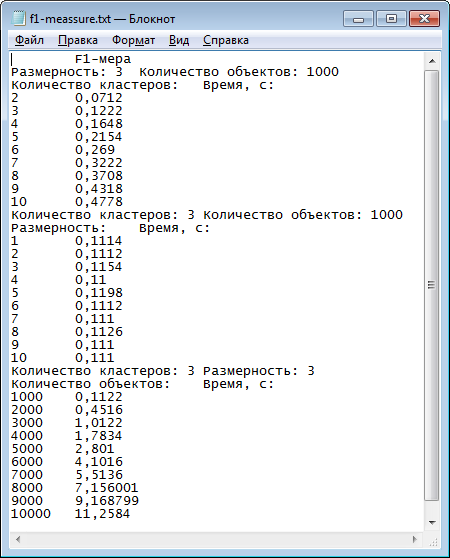
При расчёте значений коэффициентов измерения проводились 5 раз, при этом после каждого измерения кластеризованное множество генерировалось заново. Затем были рассчитаны среднее значение, которое и представлены в таблице 1.

*Таблица 1.Значения коэффициентов оценки качества кластеризации.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Коэффициент | Значение для случая кластеризации высокого качества | Значение для случая кластеризации среднего качества | Значение для случая кластеризации низкого качества |
| F1-мера | 1 | 0,8 | 0,48 |
| Критерий Calinski-Harabasz | 1233,21 | 29,68 | 0,86 |

## 3.2. Графики времени выполнения методов оценки качества кластеризации

Графики строились с помощью Microsoft Excel по текстовым файлам. Содержимое такого файла для F1-меры представлено на рисунке 4. На рисунках 5-7 представлены сами графики.



*Рисунок 4. Содержимое файла, содержащего значения времени расчёта F1-меры.*

*Рисунок 5. Графики зависимости времени от количества кластеров.*

*Рисунок 6. Графики зависимости времени от размерности пространства.*

*Рисунок 7. Графики зависимости времени от количества точек.*

# 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

## 4.1. Детализированный план работ

1. Составление технического задания
2. Обзор литературы
3. Разработка генератора кластеризованных множеств
4. Реализация методов оценки качества кластеризации
5. Расчёт времени работы реализованных методов в зависимости от различных параметров кластеризованного множества
6. Построение графиков зависимости времени от параметров
7. Оформление пояснительной записки
8. Оформление иллюстративного материала

## 4.2. Расчёт ожидаемой длительности работ

Для расчёта продолжительности каждой работы будем использовать расчётный метод. Для этого воспользуемся следующей формулой:

где – ожидаемая длительность j-ой работы, и – наименьшая и наибольшая по мнению эксперта длительность работы

Произведём расчёты для каждой из работ:

1. Составление технического задания
2. Обзор литературы
3. Разработка генератора кластеризованных множеств
4. Реализация методов оценки качества кластеризации
5. Расчёт времени работы реализованных методов в зависимости от различных параметров кластеризованного множества
6. Построение графиков зависимости времени от параметров
7. Оформление пояснительной записки
8. Оформление иллюстративного материала

## 4.3. Расчёт ставки заработной платы

В качестве месячной заработной платы примем заработную плату инженера, равную 45000 рублей. [4]

Для определения дневной ставки заработной платы разделим заработную плату за месяц на количество рабочих дней в месяце (21 день). В результате получим 2142,858 рубля.

## 4.4. Расчёт расходов на заработную плату

Расходы на основную заработную плату определяются по формуле:

где T – время, затраченное на исследование, С – ставка

Для получения T сложим ожидаемые длительности всех работ. В результате получим 72,6 дня.

Таким образом, рублей

Расходы на дополнительную заработную плату определяются по формуле:

где – расходы на основную заработную плату,

– норматив дополнительной заработной платы, равный 14 %

Подставив необходимые значения в формулу, получим:

рублей

Суммарные расходы на заработную плату составят 177351,5 рублей.

## 4.5. Расчёт отчислений на страховые взносы

Отчисления на страховые взносы на обязательное социальное, пенсионное и медицинское страхование определяются по формуле:

где – основная заработная плата,

– дополнительная заработная плата,

– норматив отчислений на страховые взносы на обязательное социальное, пенсионное и медицинское страхование, равный 30 % [5]

Подставив необходимые значения в формулу, получим:

рублей

## 4.6. Расчёт затрат на содержание и эксплуатацию оборудования

Для выполнения данной работы используется персональный компьютер. Для определения затрат на его эксплуатацию воспользуемся тарифом для потребителей, приравненных к населению. Есть три вида таких тарифов: одноставочный тариф; тариф, дифференцированный по двум зонам суток и тариф, дифференцированный по трём зонам суток. Будем рассматривать тариф, дифференцированным по двум зонам суток. В таком случае размер тарифа в дневную зону будет равен 4,29 руб./кВт\*час.[6]

Компьютер средней мощности потребляет 250 Вт\*час энергии. Переведя данное значение в кВт\*час, получим 0,25 кВт\*час. Умножив данное значение на тариф, получим затраты на эксплуатацию компьютера в течение одного часа: 1,073 рубля. Для того, чтобы найти затраты за день, затраты за час необходимо умножить на 8. В результате получим 8,584 рубля.

Компьютер используется во всех работах, за исключением составления технического задания. Сложив ожидаемые длительности всех работ, за исключением составления технического задания, получим 70 дней. Данное время является временем эксплуатации компьютера. Перемножив его на затраты за день получим общие затраты на содержание и эксплуатацию оборудования. В результате получим 600,88 рублей.

## 4.6. Совокупная величина затрат

Для расчёта совокупной величины затрат, связанных с проведением исследования, занесём рассчитанные значения в таблицу 2.

*Таблица 2.Смета затрат на ВКР.*

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование статьи | Сумма, руб |
| Расходы на оплату труда | 177351,5 |
| Отчисления на социальные нужды | 53205,45 |
| Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования | 600,88 |
| Итого затрат | 231157,83 |

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сивоголовко Елена. Оценка качества чёткой кластеризации. [Электронный ресурс].

URL: http://synthesis.ipi.ac.ru/sigmod/seminar/sivogolovko20111124.pdf (дата обращения: 16.01.2017).

1. А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. - 336 с.
2. Котов Александр, Красильников Николай. Кластеризация данных. [Электронный ресурс]. URL: http://yury.name/internet/02ia-seminar-note.pdf (дата обращения: 16.01.2017).
3. Trud.com. Обзор статистики зарплат профессии инженер в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс].

URL: http://sankt-peterburg.trud.com/salary/865/3670.html (дата обращения: 16.01.2017).

1. Главбух. Взносы в ПФР, ФОМС, ФСС. [Электронный ресурс].

URL: http://www.glavbukh.ru/rubrika/157 (дата обращения: 17.01.2017).

1. Петроэлектросбыт. Тарифы на электроэнергию по СПб. [Электронный ресурс]. URL: https://pes.spb.ru/for\_customers/electricity\_tariffs/electricity\_tariffs\_for\_st\_petersburg/ (дата обращения: 17.01.2017).
2. Enargys. Потребление электроэнергии компьютерами разной мощности. [Электронный ресурс].

URL: http://enargys.ru/potreblenie-elektroenergii-kompyuterami/ (дата обращения: 17.01.2017).