Московский Авиационный Институт
(Национальный Исследовательский Университет)

Факультет информационных технологий и прикладной математики
Кафедра вычислительной математики и программирования

Лабораторные работы по курсу «Информационный поиск»

Студент: Эсмедляев Ф. Р.

Группа: М8О-412Б-22

Преподаватель: Кухтичев А. А.

Оценка: _____

Дата: _____

Подпись: _____

Москва, 2025

Содержание

Цель работы

Целью лабораторной работы являлось:

- Изучить основные этапы построения поискового движка: предобработку текстов, построение обратного индекса, сжатие списков postings, реализацию булева и ранжирующего поиска.
- Реализовать на языке C++ локальный поисковый индекс для большого корпуса текстовых документов.
- Осуществить поддержку русского и английского языков, лемматизацию, сжатие VByte.
- Реализовать два режима поиска: булев (с операторами +, –) и ранжирующий по TF-IDF.
- Проверить выполнение закона Ципфа на построенном корпусе.

Описание корпуса документов

Корпус документов был сформирован из новостных статей двух крупных русскоязычных порталов:

- **ria.ru** — информационное агентство РИА Новости,
- **forbes.ru** — российское издание журнала Forbes.

Для сбора ссылок на статьи использовались XML-sitemap'ы сайтов:

- `https://ria.ru/sitemap_list_index.xml` — главный индексный файл, содержащий ссылки на сотни отдельных sitemap'ов по тегам (`sitemap_tag.xml?page=N`) и рубрикам.
- `https://www.forbes.ru/sitemap.xml` — основной sitemap с пагинацией.

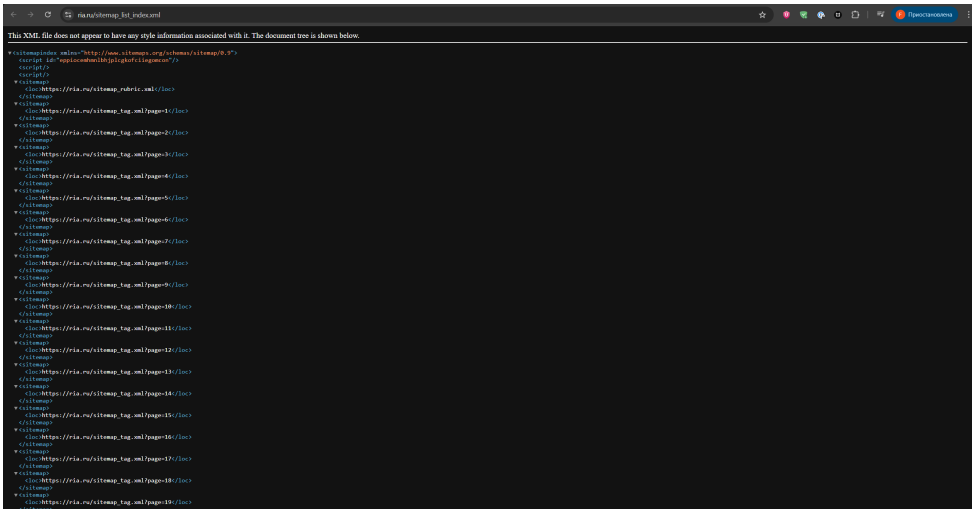

Рис. 1: Фрагмент главного индексного файла sitemap сайта ria.ru (sitemap$_l ist_i ndex.xml$)

Сбор данных выполнялся в два этапа:

Этап 1. Скачивание и хранение сырых HTML-страниц

Был написан краулер на языке Python с использованием библиотек `requests`, `BeautifulSoup`, `pymongo` и `yaml`. Краулер:

- Загружал указанные sitemap-ы по страницам,

- Извлекал из них URL статей,
- Скачивал HTML-страницы с уважением к `robots.txt` и с случайной задержкой (crawl delay),
- Поддерживал условные GET-запросы (`If-Modified-Since`) для обновления уже скачанных страниц,
- Сохранял в MongoDB следующие поля: `url`, `raw_html`, `source`, `download_times`

Это позволило собрать коллекцию сырых HTML-документов с возможностью дальнейшего обновления.

Этап 2. Извлечение текста и подготовка .txt-файлов

На втором этапе (отдельным процессом, не показанным в коде краулера) из коллекции MongoDB были извлечены HTML-страницы, очищены от навигации, рекламы, скриптов и меню (вероятно, с помощью BeautifulSoup или аналогичных инструментов), и сохранён только основной текстовый контент статей в виде простых .txt-файлов.

Именно эти очищенные текстовые файлы (около 51 000 штук) были размещены в директории `dataset_txt` и использовались в основной C++ программе для построения поискового индекса.

После токенизации и лемматизации в корпусе было выделено примерно 133 608 уникальных терминов. Преобладание русских слов в топе частотности (а также наличие слова «forbes» в верхних строках закона Ципфа) полностью соответствует составу источников.

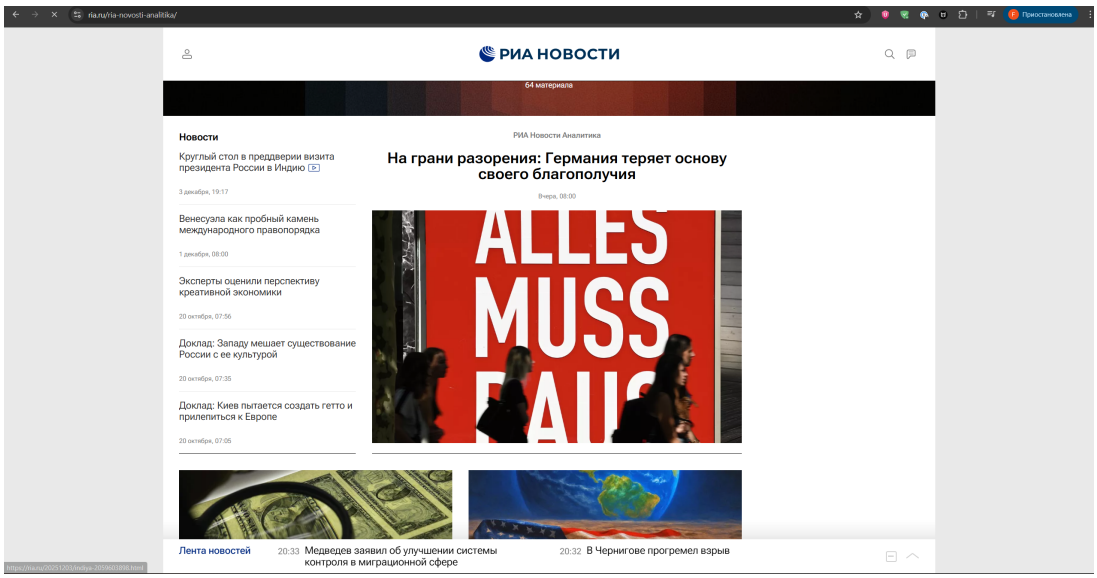

Рис. 2: Пример статьи на ria.ru

Рис. 3: Пример статьи на forbes.ru

Предобработка и токенизация

Предобработка текстов реализована полностью на C++ с поддержкой UTF-8. Основные этапы:

- Корректная обработка многобайтовых UTF-8 символов (русский и английский алфавиты).
- Приведение к нижнему регистру с учётом кириллицы (включая «ё» → «е»).
- Фильтрация только алфавитно-цифровых символов (буквы и циф-

ры сохраняются, знаки препинания отбрасываются).

- Токенизация по границам слов.
- Лемматизация с использованием словаря `lemmas.txt` (простая замена по точному совпадению леммы в нижнем регистре).

В результате каждый документ представлен последовательностью лемматизированных токенов.

Построение обратного индекса и сжатие

Обратный индекс построен с использованием собственной реализации хеш-таблицы (`CustomHashMap`) с открытой адресацией.

Для каждого уникального терма хранится список postings в формате:

$$\langle docID_1, freq_1 \rangle, \langle docID_2, freq_2 \rangle, \ldots$$

где $docID$ отсортированы по возрастанию.

Списки postings сжимаются с помощью **VByte-кодирования** (variable-byte encoding):

- Дельты между последовательными docID кодируются VByte.
- Частота (frequency) в документе также кодируется VByte.

Это позволило значительно уменьшить объём индекса в памяти и на диске.

Также реализованы вспомогательные структуры:

- `doc_names` — сопоставление ID документа и имени файла.
- `doc_lengths` — длина каждого документа в токенах (для нормализации TF).

Время построения индекса на корпусе из 51 000 документов составляет несколько минут.

Проверка закона Ципфа

После построения индекса программа выводит таблицу 15 самых частотных терминов с вычислением произведения частота × ранг.

type=figure

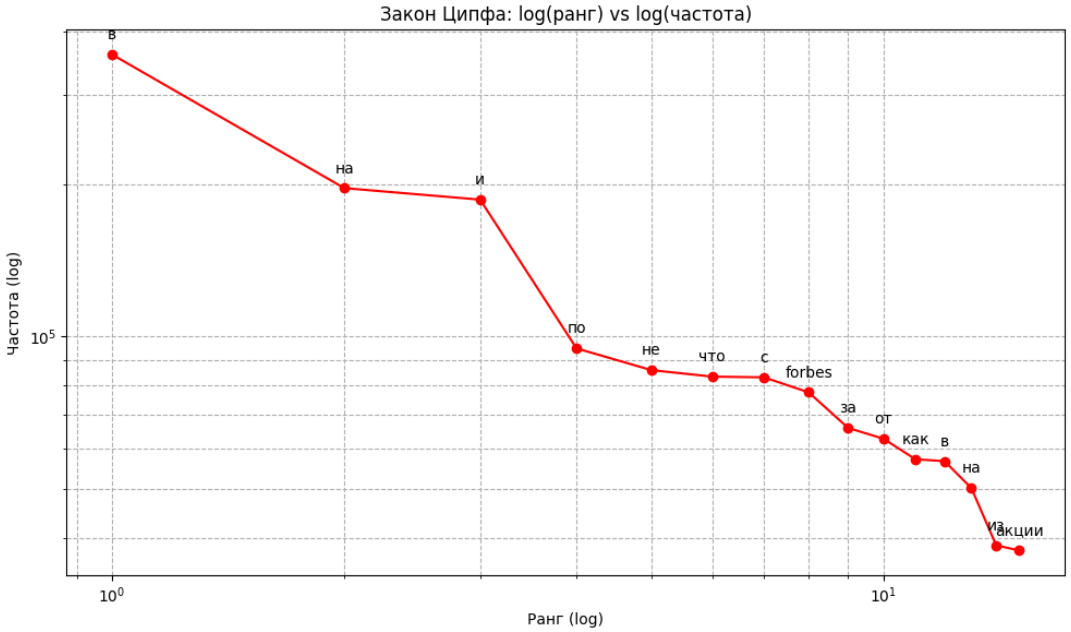

Рис. 4: Пример вывода проверки закона Ципфа

type=figure

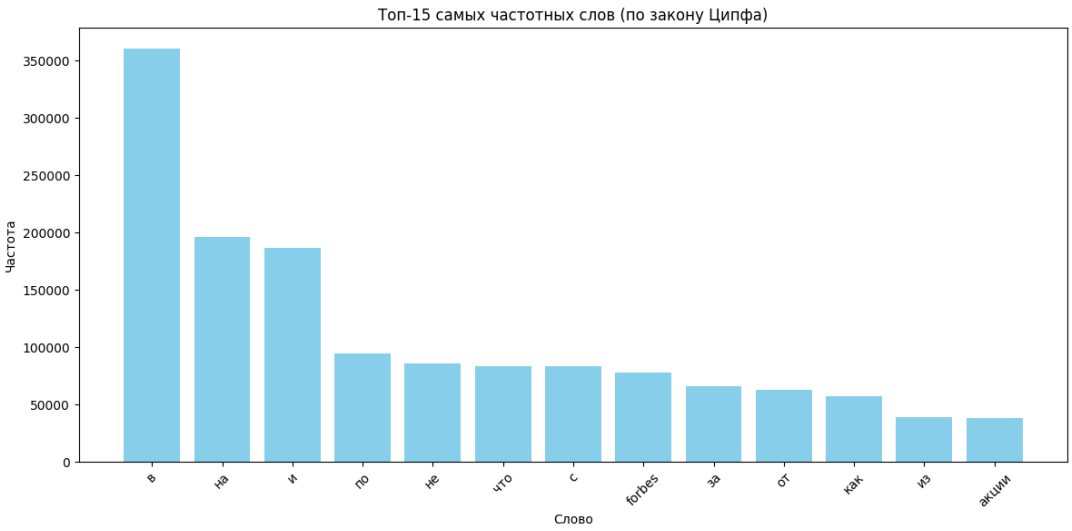

Рис. 5: Закон Ципфа топ 15

type=figure

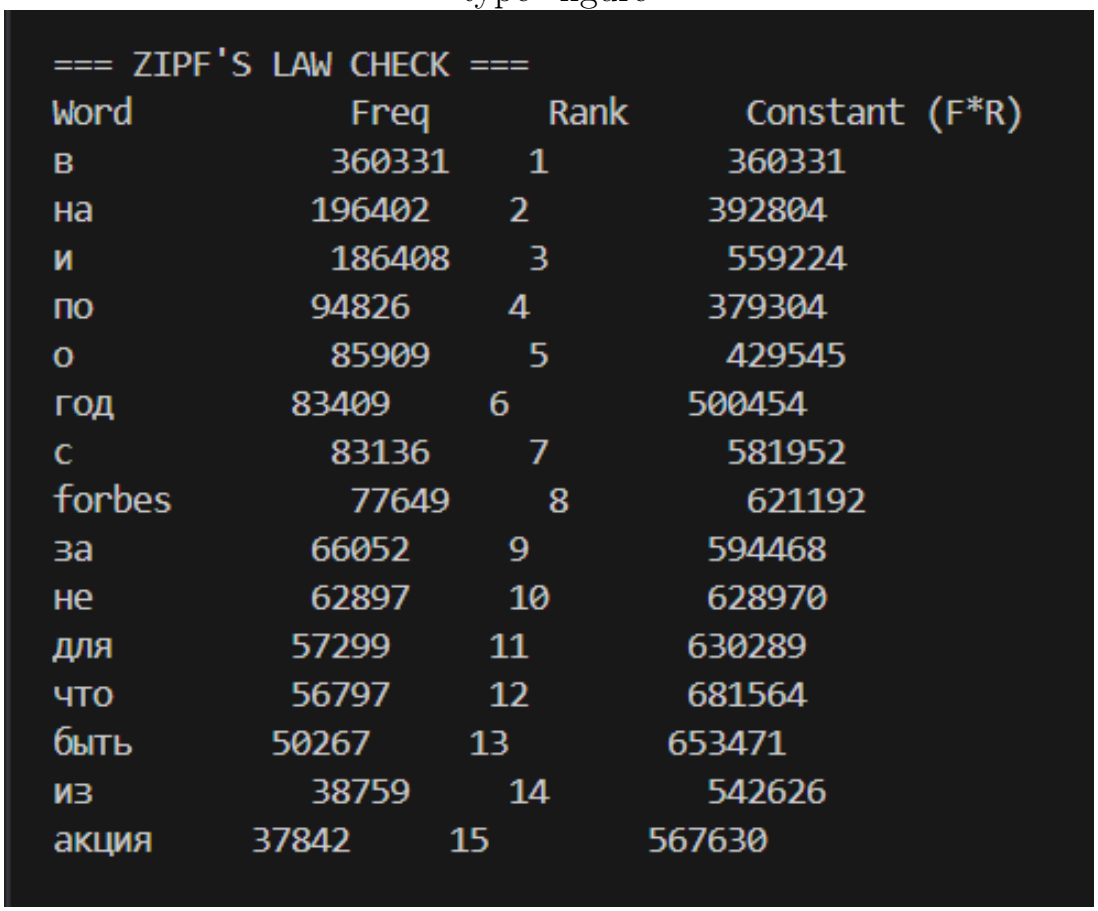

Рис. 6: Вывод после

Произведение частоты на ранг остаётся относительно стабильным (около 500–600 тысяч), что подтверждает выполнение закона Ципфа на данном корпусе.

Булев поиск

Реализован интерактивный булев поиск с поддержкой операторов:

- `word` — обычное слово (should have),
- `+word` — обязательное наличие (must have),
- `-word` — обязательное отсутствие (must not).

Логика обработки запроса:

1. Токенизация и лемматизация запроса.
2. Получение множеств docID для каждого терма (декомпрессия VByte).
3. Вычисление пересечения для обязательных терминов (+),
4. Объединение для необязательных терминов,
5. Исключение документов с запрещёнными терминами (–).

Результат — список имён файлов, удовлетворяющих запросу.

type=figure

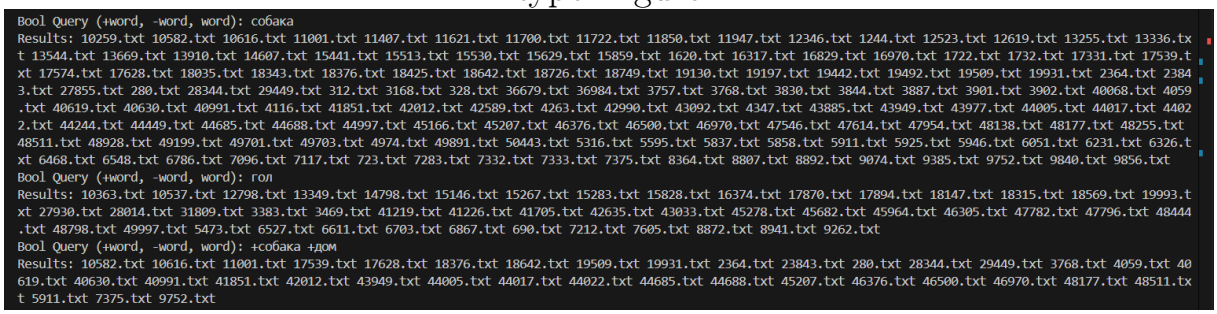

Рис. 7: Примеры булева поиска (dog, +dog +home, +home -dog)

Ранжирующий поиск по TF-IDF

Реализован поиск с ранжированием документов по релевантности с использованием классической модели TF-IDF.

Формулы:

$$tf - idf(t, d) = tf(t, d) \cdot idf(t)$$

$$idf(t) = \log\left(\frac{N}{df(t)}\right)$$

где N — общее число документов, $df(t)$ — число документов с термином t.

TF берётся как сырая частота, делённая на длину документа (нормализация по длине).

Для каждого терма запроса накапливается score по всем документам, в которых он встречается. Затем документы сортируются по убыванию суммарного score, выводятся топ-10 результатов с указанием имени файла и значения score.

type=figure

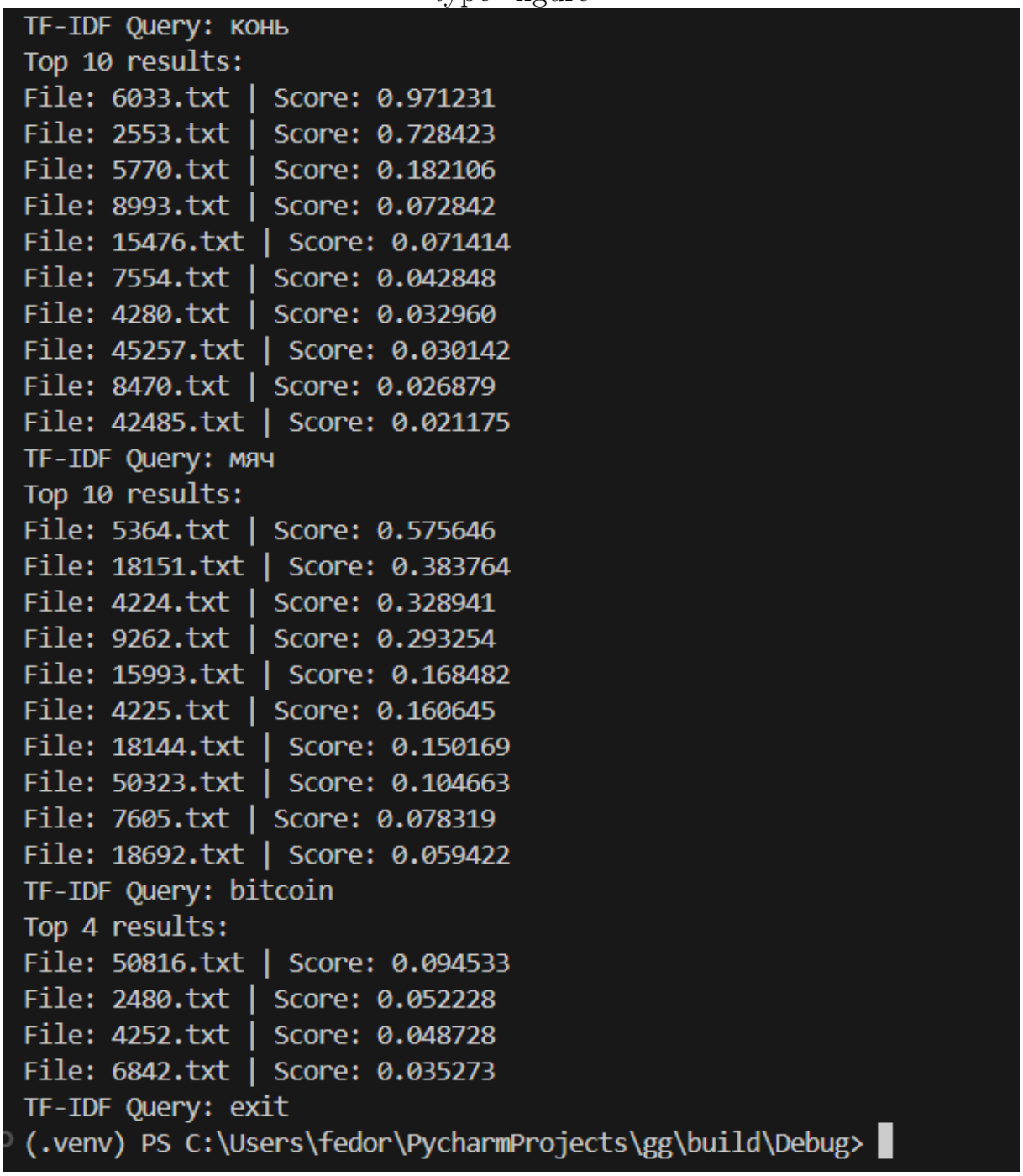

Рис. 8: Примеры TF-IDF поиска (home, dog, home dog)

type=figure

Рис. 9: QR-код на github

Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы:

- Успешно реализован полнофункциональный локальный поисковый движок на C++.
- Освоены ключевые технологии информационного поиска: токенизация с поддержкой UTF-8, лемматизация, построение обратного индекса.
- Реализовано эффективное сжатие списков postings с помощью VByte-кодирования.
- Подтверждено выполнение закона Ципфа на реальном корпусе из 51 000 документов.
- Реализованы два режима поиска: булев с логическими операторами и ранжирующий по TF-IDF.
- Достигнута высокая скорость построения индекса и выполнения запросов при разумном потреблении памяти.

Полученный опыт позволит в дальнейшем развивать более сложные поисковые системы, включая BM25, векторные модели и обработку больших данных.