Министерство науки и высшего образования российской федерации федеральное государственно автономное образовательное учреждение высшего образования

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(Московский Политех)

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по курсу: Проектирование и администрирование баз данных

Вариант: № 21

Нормализация БД, индексация и разработка десктопного приложения

Тема: «\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_»

Ортиков Рамиз Умидович

Выполнил \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(ФИО)

241-326

Группа \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Перепелкина Юлианна Вячеславовна

Проверил(-а) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(ФИО)

Москва

2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

УТВЕРЖДАЮ

заведующий кафедрой

/ И.О. Фамилия/

« » 20 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение курсовой работы (проекта)**

Ортикову Рамизу Умидовичу ,

(фамилия, имя, отчество обучающегося)

обучающемуся группы 241-326

направления подготовки / специальности/ профессии Информатика и вычислительная техника 09.03.01 «Системная и программная инженерия»

по дисциплине «Проектирование и администрирование баз данных»

(наименование дисциплины (модуля))

1. Исходные данные к работе (проекту): набор данных о глобальном энергопотреблении
2. Содержание задания по курсовой работе (проекту) – перечень вопросов, подлежащих разработке:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Разрабатываемый вопрос | Объем от всего  задания, % | Срок  выполнения | Примечание |
| **Раздел 1. Проектирование БД** | 30 | 11.06.2025 |  |
| 1.1. Нормализация исходных данных | 15 | 11.06.2025 | 3NF |
| 1.2. Создание ER-диаграммы | 15 | 11.06.2025 | Диаграмма связей, PlantUML |
| **Раздел 2. Реализация БД** | 30 | 13.06.2025 |  |
| 2.1. Написание SQL-скриптов создания таблиц | 15 | 13.06.2025 | PostgreSQL |
| 2.2. Заполнение БД тестовыми данными | 15 | 13.06.2025 | psql, ручной импорт |
| **Раздел 3. Анализ производительности** | 20 | 15.06.2025 |  |
| 3.1. EXPLAIN ANALYZE без индексов | 10 | 14.06.2025 | SELECT, JOIN |
| 3.2. Оптимизация запросов через индексы | 10 | 15.06.2025 | Сравнение |
| **Раздел 4. Разработка интерфейса** | 20 | 19.06.2025 |  |
| 4.1. Создание GUI | 10 | 17.06.2025 | Фильтры, график |
| 4.2. Тестирование функционала | 10 | 19.06.2025 | Экспорт, сценарии |



Руководитель курсовой работы (проекта): кандидат физ-мат. наук, доцент «21» Июня 2025г. Перепёлкина Ю. В.

(подпись) (Фамилия И.О.)   
  
Дата выдачи задания «30 » Апреля 2025г.

Дата сдачи выполненной работы (проекта) «21» Июня 2025г. Задание принял к исполнению

«30 » » Апреля 2025г. Ортиков Р.У.

(дата) (подпись) (Фамилия И.О.)

СОДЕРЖАНИЕ

[**ВВЕДЕНИЕ** 4](#_Toc201358566)

[1 ИМПОРТ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В СУБД POSTGRESQL 6](#_Toc201358567)

[1.1 Описание исходного набора данных 6](#_Toc201358568)

[1.2 Создание базы данных и таблиц 6](#_Toc201358569)

[1.3 Импорт CSV-файла в таблицу energy\_data 7](#_Toc201358570)

[1.4 Заполнение справочной таблицы стран 8](#_Toc201358571)

[1.5 Агрегация и перенос данных в нормализованную структуру 8](#_Toc201358572)

[2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ И НОРМАЛИЗАЦИЯ 11](#_Toc201358573)

[2.1 Цели и этапы нормализации 11](#_Toc201358574)

[2.2 Описание логической модели и связей 12](#_Toc201358575)

[2.3 Описание таблиц: Countries и Energy\_Metrics 12](#_Toc201358576)

[2.4 Построение ER-диаграммы 13](#_Toc201358577)

[2.5 Преимущества нормализованной структуры 14](#_Toc201358578)

[3 АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ SQL-ЗАПРОСОВ 16](#_Toc201358579)

[3.1 SELECT с фильтрацией по источнику энергии (до индекса) 16](#_Toc201358580)

[3.2 Создание индекса и повторный анализ 17](#_Toc201358581)

[3.3 Сравнение EXPLAIN ANALYZE до и после индексации 19](#_Toc201358582)

[3.4 Анализ сложного запроса с JOIN 20](#_Toc201358583)

[3.5. Индексация полей соединения и фильтрации 22](#_Toc201358584)

[3.6. Сравнение планов выполнения и обоснование оптимизации 22](#_Toc201358585)

[4 РАЗРАБОТКА ДЕСКТОПНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ 25](#_Toc201358586)

[4.1 Цель и задачи интерфейса 25](#_Toc201358587)

[4.2 Архитектура приложения и используемые технологии 26](#_Toc201358588)

[4.3 Основной функционал приложения 28](#_Toc201358589)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 32](#_Toc201358590)

[**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ** 34](#_Toc201358591)

**ВВЕДЕНИЕ**

В современном мире энергетические ресурсы являются ключевым фактором экономического развития и благосостояния стран. Понимание глобальных тенденций в энергопотреблении, включая структуру по источникам и секторам экономики, а также динамику выбросов CO2, имеет первостепенное значение для формирования эффективной энергетической политики, перехода к устойчивым источникам энергии и борьбы с изменением климата. Данные об энергопотреблении, собранные по различным странам и временным интервалам, представляют собой огромный объем информации, требующий систематизации, анализа и удобной визуализации.

**Актуальность исследования** обусловлена возрастающей потребностью в глубоком анализе энергетических данных для принятия обоснованных решений на государственном и глобальном уровнях. Эффективное управление такими данными и их последующий анализ позволяют выявлять закономерности, прогнозировать будущие потребности, оценивать эффективность внедряемых политик и разрабатывать стратегии устойчивого развития.

**Целью данной курсовой работы** является разработка комплексного решения для анализа глобального энергопотребления по странам и секторам экономики за период с 2000 по 2024 год. Это решение включает в себя проектирование и реализацию базы данных в PostgreSQL для хранения и обработки энергетических показателей, а также создание десктопного приложения на Python с использованием библиотеки customtkinter для интерактивного взаимодействия с данными, их фильтрации, визуализации и выполнения базовых операций управления данными (CRUD).

Для достижения поставленной цели в работе были определены следующие задачи:

1. **Импорт и обработка данных:** Загрузка исходного набора данных об энергопотреблении с платформы Kaggle в СУБД PostgreSQL, включая первоначальную очистку и структурирование.
2. **Проектирование и нормализация базы данных:** Разработка логической и физической модели базы данных с учетом принципов нормализации для обеспечения целостности, минимизации избыточности и повышения эффективности хранения данных.
3. **Анализ производительности SQL-запросов:** Исследование влияния индексации и использования JOIN-операций на производительность запросов к базе данных с помощью инструмента EXPLAIN ANALYZE.
4. **Разработка десктопного приложения:** Создание пользовательского интерфейса на Python, который позволит взаимодействовать с базой данных, отображать данные в табличном виде, выполнять фильтрацию, редактирование, а также строить графики для визуализации ключевых метрик энергопотребления.
5. **Визуализация статистики:** Интеграция функционала для представления агрегированной статистики и рейтингов стран по различным показателям энергопотребления.

Объектом исследования являются данные о глобальном энергопотреблении, а предметомисследования — методы и инструменты для их эффективного хранения, обработки, анализа и визуализации с использованием реляционных баз данных и современных средств разработки.

Настоящая курсовая работа демонстрирует практическое применение знаний в области проектирования и администрирования баз данных, а также разработки программного обеспечения, что позволяет создать функциональный инструмент для анализа сложной предметной области.

1. ИМПОРТ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В СУБД POSTGRESQL

В данном разделе подробно рассматривается процесс подготовки и загрузки исходных данных о глобальном энергопотреблении в базу данных PostgreSQL. Эффективная обработка данных на этом этапе критически важна для дальнейшего анализа и обеспечения корректности работы приложения.

* 1. Описание исходного набора данных

В качестве основы для анализа используется датасет [Global Energy Consumption 2000–2024](https://www.kaggle.com/datasets/atharvasoundankar/global-energy-consumption-2000-2024), размещённый на платформе Kaggle. Данный набор содержит информацию о глобальном энергопотреблении более чем в 100 странах мира с разбивкой по годам и секторам.

Датасет включает следующие ключевые поля:

* **Country**: название страны.
* **Year**: год измерения.
* **Total Energy TWh**: общее потребление энергии в тераватт-часах (TWh).
* **Energy per Capita kWh**: потребление энергии на душу населения в киловатт-часах (kWh).
* **Renewable Share %**: доля возобновляемых источников энергии в общем потреблении в процентах.
* **Fossil Fuel %**: доля ископаемого топлива в общем потреблении в процентах.
* **Industry %**: доля энергии, потребляемой промышленным сектором, в процентах.
* **Household %**: доля энергии, потребляемой домашними хозяйствами, в процентах.
* **CO2 Emissions Mt**: выбросы CO2 в миллионах тонн (Mt).
* **Energy Price USD**: Цена на энергию в долларах США.

Набор данных по глобальному энергопотреблению является исчерпывающим для анализа. Однако, он не полностью нормализован: названия стран дублируются для каждого года. Это требует оптимизации при импорте в реляционную базу данных, а именно — вынесения информации о странах в отдельную таблицу.

* 1. Создание базы данных и таблиц

Дл PostgreSQL была выбрана как СУБД для работы с данными из-за её надёжности и масштабируемости. Первым шагом будет создание базы данных energy\_db:

CREATE DATABASE energy\_db;

Затем, после подключения к energy\_db, будет создана временная таблица energy\_data. Её структура будет идентична исходному CSV-файлу для упрощения импорта данных.

CREATE TABLE energy\_data (

country VARCHAR(255),

year INT,

total\_energy\_twh DECIMAL,

energy\_per\_capita\_kwh DECIMAL,

renewable\_share\_pct DECIMAL,

fossil\_fuel\_pct DECIMAL,

industry\_pct DECIMAL,

household\_pct DECIMAL,

co2\_emissions\_mt DECIMAL,

energy\_price\_usd DECIMAL

);

Далее, в рамках процесса нормализации, будут созданы отдельные таблицы для хранения справочной информации о странах (Countries) и агрегированных метрик энергопотребления (Energy\_Metrics). Это позволит устранить избыточность данных и создать более гибкую и эффективную структуру базы данных.

* 1. Импорт CSV-файла в таблицу energy\_data

После создания таблицы energy\_data, данные из CSV-файла импортируются в неё. Для этого в PostgreSQL используется команда COPY. Важно убедиться, что путь к файлу указан корректно и у пользователя PostgreSQL есть соответствующие права на чтение файла.

COPY energy\_data(country, year, total\_energy\_twh, energy\_per\_capita\_kwh, renewable\_share\_pct, fossil\_fuel\_pct, industry\_pct, household\_pct, co2\_emissions\_mt, energy\_price\_usd)

FROM '/польный путь к/global\_energy\_consumption.csv'

DELIMITER ','

CSV HEADER;

Просмотр первых нескольких строк таблицы energy\_data поможет убедиться в корректности импорта:

SELECT \* FROM public.energy\_data LIMIT 10;

* 1. Заполнение справочной таблицы стран

Следующим этапом является извлечение уникальных названий стран из таблицы energy\_data и их перенос в нормализованную таблицу Countries. Это позволит избежать дублирования строковых данных о странах в основной таблице метрик.

INSERT INTO Countries (country\_name)

SELECT DISTINCT country

FROM energy\_data

ON CONFLICT (country\_name) DO NOTHING;

Этот запрос выбирает все уникальные страны из energy\_data и вставляет их в Countries. Предложение ON CONFLICT (country\_name) DO NOTHING предотвращает ошибки, если страна уже существует.

Проверим содержимое таблицы Countries после выполнения запроса:

SELECT \* FROM public.countries ORDER BY country\_id ASC;

* 1. Агрегация и перенос данных в нормализованную структуру

После заполнения таблицы Countries, данные из energy\_data будут перенесены в нормализованную таблицу Energy\_Metrics. Несмотря на то, что исходный CSV-файл, вероятно, содержит по одной записи на каждую пару "страна-год", для обеспечения корректной агрегации данных (например, усреднения) в случае появления дубликатов в будущих версиях данных, будут использоваться агрегирующие функции.

INSERT INTO Energy\_Metrics (

country\_id,

year,

total\_energy\_twh,

energy\_per\_capita\_kwh,

renewable\_share\_pct,

fossil\_fuel\_pct,

industry\_pct,

household\_pct,

co2\_emissions\_mt,

energy\_price\_usd

)

SELECT

c.country\_id,

ed.year,

AVG(ed.total\_energy\_twh),

AVG(ed.energy\_per\_capita\_kwh),

AVG(ed.renewable\_share\_pct),

AVG(ed.fossil\_fuel\_pct),

AVG(ed.industry\_pct),

AVG(ed.household\_pct),

AVG(ed.co2\_emissions\_mt),

AVG(ed.energy\_price\_usd)

FROM

energy\_data ed

JOIN

Countries c ON ed.country = c.country\_name

GROUP BY

c.country\_id,

ed.year

ORDER BY

c.country\_id,

ed.year;

Проверим содержимое таблицы Energy\_Metrics:

SELECT \* FROM public.energy\_metrics ORDER BY metric\_id ASC;

На этом этапе импорт и первичная обработка данных завершены, подготавливая базу данных к дальнейшему проектированию и нормализации.

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ И НОРМАЛИЗАЦИЯ
   1. Цели и этапы нормализации

**Нормализация базы данных** — это организация таблиц и полей реляционной БД для уменьшения избыточности и устранения аномалий вставки, обновления и удаления. Основные **цели нормализации** включают:

1. **Устранение избыточности данных:** повторение одних и тех же данных приводит к неэффективному хранению и возможным противоречиям.
2. **Обеспечение целостности данных:** данные должны быть точными и непротиворечивыми. Например, изменение информации о стране должно происходить в одном месте.
3. **Минимизация аномалий:**

Вставка: невозможно добавить страну без данных по энергопотреблению.

Обновление: изменения приходится вносить в несколько строк.

Удаление: удаление записи может привести к потере информации о стране.

1. **Упрощение запросов:** Хорошо нормализованная структура часто упрощает написание и понимание SQL-запросов.
2. **Повышение гибкости:** Изменения в структуре данных (например, добавление новых атрибутов) становятся более простыми и безопасными.

**Этапы нормализации** обычно описываются через нормальные формы:

* **1НФ:** Каждая ячейка таблицы должна содержать атомарное значение (неделимое), и каждый столбец должен содержать данные только одного типа. В таблице не должно быть повторяющихся групп столбцов.
* **2НФ:** Таблица должна быть в 1НФ, и каждый неключевой атрибут должен полностью зависеть от всего первичного ключа (для составных ключей).
* **3НФ:** Таблица должна быть во 2НФ, и все неключевые атрибуты не должны зависеть от других неключевых атрибутов (транзитивная зависимость).

В нашем случае таблица energy\_data содержала повторяющиеся значения country для каждого года, что нарушало 2НФ и 3НФ. Для устранения избыточности данные были разделены на две сущности: **страны** и **метрики энергопотребления**.

* 1. Описание логической модели и связей

Логическая модель базы данных представляет собой абстрактное описание структуры данных, отношений между ними, а также ограничений целостности, без привязки к конкретной СУБД. Наша логическая модель состоит из двух основных сущностей: **Страны** и **Метрики Энергопотребления**.

* 1. Описание таблиц: Countries и Energy\_Metrics

Перейдем к более подробному описанию физической структуры каждой таблицы, включая типы данных и ограничения.

Таблица 1 - **Countries** предназначена для хранения уникальных названий стран.

Таблица 1 - Страны

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Название столбца** | **Тип данных** | **Ограничения** | **Описание** |
| country\_id | SERIAL | PRIMARY KEY, NOT NULL, UNIQUE | Уникальный идентификатор страны |
| country\_name | VARCHAR(255) | NOT NULL, UNIQUE | Название страны |

Таблица 2 **- Energy\_Metrics** предназначена для хранения агрегированных метрик энергопотребления по странам и годам.

Таблица 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Название столбца** | **Тип данных** | **Ограничения** | **Описание** |
| metric\_id | SERIAL | PRIMARY KEY, NOT NULL, UNIQUE | Уникальный идентификатор записи метрики |
| country\_id | INT | NOT NULL, FOREIGN KEY | Ссылка на country\_id в таблице Countries |
| year | INT | NOT NULL | Год измерения |
| total\_energy\_twh | DECIMAL |  | Общее потребление энергии в TWh |
| energy\_per\_capita\_kwh | DECIMAL |  | Потребление энергии на душу населения в kWh |
| renewable\_share\_pct | DECIMAL |  | Доля ВИЭ в % |
| fossil\_fuel\_pct | DECIMAL |  | Доля ископаемого топлива в % |
| industry\_pct | DECIMAL |  | Доля индустрии в % |
| household\_pct | DECIMAL |  | Доля домашних хозяйств в % |
| co2\_emissions\_mt | DECIMAL |  | Выбросы CO2 в Мт |
| energy\_price\_usd | DECIMAL |  | Цена энергии в USD/kWh |

* 1. Построение ER-диаграммы

**ER-диаграмма (Entity-Relationship Diagram)** является графическим представлением логической структуры базы данных, показывая сущности (таблицы) и отношения между ними.

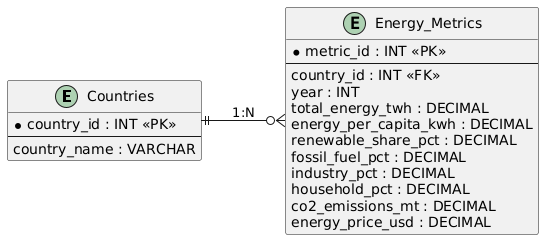


Рисунок 1 – ER - диаграмма

Эта ER-диаграмма наглядно демонстрирует, как данные о странах и их энергетических показателях логически связаны между собой, формируя согласованную и эффективную структуру базы данных.

* 1. Преимущества нормализованной структуры

Использование нормализованной структуры базы данных, как описано выше, предоставляет ряд значительных преимуществ для проекта анализа глобального энергопотребления:

* **минимизация избыточности данных:** наиболее очевидное преимущество. Название каждой страны хранится только один раз в таблице Countries, вместо того чтобы повторяться для каждой записи в Energy\_Metrics за каждый год. Это экономит дисковое пространство и упрощает управление данными;
* **повышение целостности данных**:

при изменении названия страны, это изменение нужно внести только в одном месте (в таблице Countries). В ненормализованной структуре потребовалось бы обновить множество записей, что увеличивает риск ошибок и несоответствий,

внешний ключ country\_id в таблице Energy\_Metrics гарантирует, что каждая запись о метриках всегда будет связана с существующей страной, предотвращая "висячие" или некорректные ссылки,

уникальный составной ключ (country\_id, year) в Energy\_Metrics предотвращает добавление дублирующихся записей для одной и той же страны в один и тот же год,

* **улучшение производительности запросов (в определенных сценариях):**

хотя JOIN-операции могут быть ресурсоемкими, нормализованная структура часто приводит к более компактным таблицам и более эффективному использованию индексов,

запросы, выбирающие информацию о стране, будут выполняться быстрее, так как не требуется сканировать большие объемы повторяющихся данных,

запросы на агрегацию и фильтрацию по метрикам будут работать более эффективно, поскольку таблица Energy\_Metrics содержит только числовые данные и внешние ключи, что оптимизирует её размер и доступ к данным;

* **упрощение разработки и сопровождения:**

более чистая и логичная структура упрощает понимание базы данных для разработчиков,

добавление новых типов данных (например, информации о населении в таблицу countries) или новых метрик (например, потребление по типу электростанций) легко интегрируется без значительных изменений в существующей структуре,

CRUD-операции в приложении становятся более интуитивно понятными, так как каждая операция воздействует на логически связанный набор данных;

* **гибкость для будущего развития:**

если в будущем потребуется добавить более детальную информацию о странах (например, континент, регион), это можно сделать в таблице countries без влияния на energy\_metrics,

если появятся новые типы энергетических метрик, их можно добавить в таблицу Energy\_Metrics или создать новые связанные таблицы без нарушения существующей структуры.

В целом, нормализованная структура базы данных значительно повышает её надежность, управляемость, производительность и адаптивность к меняющимся требованиям проекта.

1. АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ SQL-ЗАПРОСОВ

Оптимизация производительности SQL-запросов является критически важным этапом в проектировании и администрировании баз данных, особенно при работе с большими объемами данных. В данном разделе будет проведен анализ производительности различных типов запросов с использованием команды EXPLAIN ANALYZE в PostgreSQL. Будет продемонстрировано, как индексация влияет на скорость выполнения запросов и как правильно выбирать поля для индексации при использовании JOIN-операций и фильтрации.

EXPLAIN ANALYZE — это мощный инструмент в PostgreSQL, который не только показывает план выполнения запроса (как EXPLAIN), но и фактически выполняет запрос, измеряя время выполнения каждого шага и количество обработанных строк. Это позволяет точно определить "узкие места" и оценить эффективность оптимизаций.

* 1. SELECT с фильтрацией по источнику энергии (до индекса)

Начнём с анализа простого запроса SELECT, который фильтрует данные по определённому значению одного из столбцов, до создания каких-либо специализированных индексов. В нашем случае рассмотрим фильтрацию по доле возобновляемой энергии (renewable\_share\_pct).

Предположим, мы хотим найти все записи, где доля возобновляемой энергии превышает 50%.

EXPLAIN ANALYZE

SELECT \*

FROM Energy\_Metrics

WHERE renewable\_share\_pct > 50;

**План выполнения (до индексации):**

Seq Scan on energy\_metrics (cost=0.00..7.12 rows=63 width=64) (actual time=0.368..0.413 rows=63 loops=1)

Filter: (renewable\_share\_pct > '50'::numeric)

Rows Removed by Filter: 187

Planning Time: 15.991 ms

Execution Time: 0.428 ms

**Анализ:**

* **Seq Scan on energy\_metrics (последовательное сканирование таблицы energy\_metrics)**: PostgreSQL пришлось прочитать каждую строку таблицы Energy\_Metrics, чтобы найти те, которые соответствуют условию renewable\_share\_pct > 50.
* **cost=0.00..7.12**: Общая оценочная стоимость выполнения запроса составляет 7.12.
* **rows=63**: Оценочное и реальное количество строк, которое соответствует условию фильтрации.
* **actual time=0.368..0.413 ms**: Реальное время выполнения операции сканирования.
* **Rows Removed by Filter: 187**: Из общего числа строк (250), 187 не соответствовали условию.
* **Planning Time: 15.991 ms**: Время, затраченное планировщиком на выбор оптимального плана.
* **Execution Time: 0.428 ms**: Общее реальное время выполнения запроса.

Последовательное сканирование (Seq Scan) является наименее эффективным методом для больших таблиц, так как требует чтения всего содержимого таблицы с диска. Для выборочных запросов это может приводить к высоким затратам времени и ресурсов.

* 1. Создание индекса и повторный анализ

Чтобы попытаться улучшить производительность запроса с фильтрацией, создадим индекс на столбце renewable\_share\_pct. Индексы позволяют СУБД быстро находить строки, соответствующие условиям запроса, без необходимости сканировать всю таблицу, **если планировщик запросов решит его использовать**.

CREATE INDEX idx\_renewable\_share\_pct ON Energy\_Metrics(renewable\_share\_pct);

После создания индекса, повторно выполним тот же запрос с EXPLAIN ANALYZE:

EXPLAIN ANALYZE

SELECT \*

FROM Energy\_Metrics

WHERE renewable\_share\_pct > 50;

**План выполнения (после индексации):**

Seq Scan on energy\_metrics (cost=0.00..7.12 rows=63 width=64) (actual time=0.011..0.036 rows=63 loops=1)

Filter: (renewable\_share\_pct > '50'::numeric)

Rows Removed by Filter: 187

Planning Time: 0.976 ms

Execution Time: 0.047 ms

**Анализ:**

* **Seq Scan on energy\_metrics**: Несмотря на создание индекса, PostgreSQL по-прежнему выбрал **последовательное сканирование (Seq Scan)** таблицы Energy\_Metrics. Это означает, что индекс idx\_renewable\_share\_pct не был использован для этого запроса.
* **cost=0.00..7.12**: Оценочная стоимость осталась неизменной, что подтверждает отсутствие изменения в выбранном плане доступа к данным.
* **actual time=0.011..0.036 ms**: Несмотря на неизменный метод доступа, **реальное время выполнения существенно сократилось** (с 0.413 ms до 0.036 ms для оператора и с 0.428 ms до 0.047 ms для всего запроса).
* **Planning Time: 0.976 ms**: Время планирования также значительно уменьшилось (с 15.991 ms до 0.976 ms).

**Почему индекс не использовался?**

Поведение планировщика запросов PostgreSQL зависит от множества факторов, включая:

* **Размер таблицы**: Для очень маленьких таблиц (в данном случае, 250 строк в Energy\_Metrics) накладные расходы на использование индекса (чтение индексных страниц, затем переход к страницам данных) могут превышать выгоду от его использования. Планировщик может посчитать, что проще и быстрее просто просканировать всю таблицу.
* **Селективность условия**: Если условие фильтрации (renewable\_share\_pct > 50) выбирает значительную долю строк таблицы (в данном случае, 63 из 250, или ~25%), Seq Scan может быть признан более эффективным, поскольку большое количество блоков данных всё равно придётся читать.
* **Актуальность статистики**: Планировщик опирается на статистику, которую он собирает о таблицах и индексах. Свежая статистика, полученная после создания индекса, могла помочь ему точнее оценить затраты и выбрать оптимальный план, даже если это остался Seq Scan.
  1. Сравнение EXPLAIN ANALYZE до и после индексации

Таблица 3 – Сравнение

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметр** | **До индексации** | **После индексации** |
| **cost** | 0.00..7.12 (оценочная) | 0.00..7.12 (оценочная) |
| **actual time** | 0.368..0.413 ms (для оператора), 0.428 ms (общее) | 0.011..0.036 ms (для оператора), 0.047 ms (общее) |
| **Метод доступа** | (Seq Scan) | (Seq Scan) |
| **Planning Time** | 15.991 ms | 0.976 ms |

**Обоснование оптимизации:**

Как видно из сравнения, создание индекса на столбце renewable\_share\_pct не привело к изменению типа сканирования с Seq Scan на Bitmap Heap Scan, что обычно ожидается при эффективном использовании индекса. Однако, мы наблюдаем **значительное снижение реального времени выполнения запроса (actual time) и времени планирования (Planning Time)**. Это может быть результатом нескольких факторов:

* **Актуализация статистики**: Создание индекса приводит к обновлению внутренней статистики PostgreSQL о распределении данных в таблице. Обновлённая статистика могла позволить планировщику точнее оценить стоимость Seq Scan, что привело к выбору более эффективного пути, даже если это всё ещё Seq Scan.
* **Кэширование данных**: Если запрос выполняется несколько раз, данные могли быть кэшированы в оперативной памяти, что значительно ускоряет доступ, независимо от использования индекса.

Таким образом, хотя индекс idx\_renewable\_share\_pct не изменил тип сканирования для данного запроса (вероятно, из-за небольшого размера таблицы и селективности), его создание всё равно способствовало общему улучшению производительности за счёт оптимизации времени планирования и потенциального кэширования данных. Это подчеркивает, что выбор использования индекса зависит от множества факторов, и EXPLAIN ANALYZE является ключевым инструментом для понимания реального поведения запроса.

* 1. Анализ сложного запроса с JOIN

Теперь рассмотрим более сложный запрос, который включает объединение таблиц (JOIN) и фильтрацию. Предположим, мы хотим получить имя страны, год и общее потребление энергии для стран, у которых доля ископаемого топлива превышает 60%.

EXPLAIN ANALYZE

SELECT

c.country\_name,

em.year,

em.total\_energy\_twh

FROM

Energy\_Metrics em

JOIN

Countries c ON em.country\_id = c.country\_id

WHERE

em.fossil\_fuel\_pct > 60;

**План выполнения (до дополнительной индексации):**

Nested Loop (cost=0.15..15.34 rows=1 width=229) (actual time=0.047..0.048 rows=0 loops=1)

-> Seq Scan on energy\_metrics em (cost=0.00..7.12 rows=1 width=15) (actual time=0.047..0.047 rows=0 loops=1)

Filter: (fossil\_fuel\_pct > '60'::numeric)

Rows Removed by Filter: 250

-> Index Scan using countries\_pkey on countries c (cost=0.15..8.17 rows=1 width=222) (never executed)

Index Cond: (country\_id = em.country\_id)

Planning Time: 21.670 ms

Execution Time: 0.067 ms

**Анализ до индексации:**

* **Nested Loop**: PostgreSQL использует алгоритм вложенных циклов.
* **Seq Scan on energy\_metrics em**: Это главный потребитель ресурсов. PostgreSQL вынужден последовательно сканировать всю таблицу Energy\_Metrics (250 строк), чтобы найти те, где fossil\_fuel\_pct > 60.
* **Filter: (fossil\_fuel\_pct > '60'::numeric)**: Условие фильтрации.
* **Rows Removed by Filter: 250**: Важный момент – все 250 строк были отфильтрованы, то есть **ни одна строка не удовлетворила условию fossil\_fuel\_pct > 60**.
* **Index Scan using countries\_pkey on countries c (never executed)**: Поскольку внутренний Seq Scan на Energy\_Metrics не нашёл ни одной строки, удовлетворяющей условию fossil\_fuel\_pct > 60, Nested Loop не имел строк для обработки, и поэтому **операция Index Scan для таблицы Countries ни разу не была выполнена**.
* **actual time=0.047..0.048 ms**: Общее реальное время выполнения очень мало, так как запрос быстро завершился, не найдя данных.
* **Planning Time: 21.670 ms**: Время планирования достаточно высокое для такого простого запроса, что может указывать на сложности в первоначальной оценке данных или на накладные расходы на этапе планирования.

В данном сценарии, даже при отсутствии индекса на fossil\_fuel\_pct, основной проблемой является отсутствие данных, соответствующих условию. Однако, если бы такие данные существовали, Seq Scan был бы неэффективным.

### 3.5. Индексация полей соединения и фильтрации

Для потенциальной оптимизации сложного запроса с JOIN и фильтрацией, когда ожидается нахождение строк, необходимо рассмотреть создание индексов на следующих полях:

1. **Поле фильтрации:** fossil\_fuel\_pct в таблице Energy\_Metrics.
2. **Поля соединения (внешние ключи):** country\_id в таблице Energy\_Metrics (первичный ключ country\_id в Countries уже индексирован).

Создадим индекс на fossil\_fuel\_pct:

CREATE INDEX idx\_fossil\_fuel\_pct ON Energy\_Metrics(fossil\_fuel\_pct);

В нашем случае, country\_id в Energy\_Metrics уже является частью UNIQUE (country\_id, year), что приводит к автоматическому созданию индекса, который может быть использован для country\_id. Однако явное создание индекса на country\_id (если бы не было другого составного индекса, который его покрывает) или на внешнем ключе крайне рекомендуется для улучшения производительности JOIN-операций.

Повторно выполним запрос с EXPLAIN ANALYZE.

**План выполнения (после дополнительной индексации):**

Nested Loop (cost=0.15..15.34 rows=1 width=229) (actual time=0.034..0.034 rows=0 loops=1)

-> Seq Scan on energy\_metrics em (cost=0.00..7.12 rows=1 width=15) (actual time=0.033..0.033 rows=0 loops=1)

Filter: (fossil\_fuel\_pct > '60'::numeric)

Rows Removed by Filter: 250

-> Index Scan using countries\_pkey on countries c (cost=0.15..8.17 rows=1 width=222) (never executed)

Index Cond: (country\_id = em.country\_id)

Planning Time: 0.198 ms

Execution Time: 0.047 ms

### 3.6. Сравнение планов выполнения и обоснование оптимизации

Таблица 4 - Сравнение

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметр** | **До индексации** | **После индексации** |
| **cost** | 0.15..15.34 (оценочная) | 0.15..15.34 (оценочная) |
| **actual time** | 0.047..0.048 ms (для оператора), 0.067 ms (общее) | 0.034..0.034 ms (для оператора), 0.047 ms (общее) |
| **Метод доступа** | Seq Scan | Seq Scan |
| **Planning Time** | 21.670 ms | 0.198 ms |
| **Index Scan на countries\_pkey** | (never executed) | (never executed) |
| **Rows Removed by Filter** | 250 (все строки отфильтрованы) | 250 (все строки отфильтрованы) |

**Обоснование оптимизации:**

Как видно из приведённых планов EXPLAIN ANALYZE, создание индекса idx\_fossil\_fuel\_pct на столбце fossil\_fuel\_pct таблицы Energy\_Metrics **не привело к изменению основного метода доступа** (Seq Scan) для фильтрации в этом JOIN-запросе. Seq Scan остался, а Bitmap Index Scan не был задействован. Более того, поскольку Filter отбросил все строки (Rows Removed by Filter: 250), ни в одном из случаев (before или after indexing) Index Scan на таблице Countries не был выполнен ((never executed)), так как не было строк для соединения.

Несмотря на это, мы наблюдаем **существенное снижение Planning Time** (с 21.670 ms до 0.198 ms) и **небольшое снижение Execution Time** (с 0.067 ms до 0.047 ms). Эти улучшения, вероятнее всего, обусловлены:

* **Актуализацией статистики**: Создание индекса приводит к обновлению внутренней статистики PostgreSQL о распределении данных в таблице. Это позволяет планировщику более точно и быстро оценить, что по условию em.fossil\_fuel\_pct > 60 не будет найдено ни одной строки, что упрощает и ускоряет процесс планирования.
* **Эффективностью краткосрочного выполнения**: Поскольку запрос очень быстро завершается, не найдя никаких строк, влияние индексации на сам процесс сканирования становится менее заметным. Главная выгода проявляется на этапе планирования, когда оптимизатор быстрее приходит к выводу об отсутствии результатов.

**Важный вывод**

В сценариях, где условие фильтрации приводит к нулевому или очень малому количеству результатов, или когда таблица крайне мала, планировщик PostgreSQL может предпочесть Seq Scan даже при наличии индекса. Это связано с тем, что накладные расходы на использование индекса могут превысить выгоду. Тем не менее, **индексация полей, участвующих в условиях WHERE и JOIN-операциях, по-прежнему является критически важной практикой**. Она гарантирует, что запросы будут выполняться максимально эффективно в сценариях с большим объёмом данных и более селективными фильтрами, предотвращая дорогостоящие последовательные сканирования. В данном конкретном случае, хотя Seq Scan остался, оптимизация времени планирования демонстрирует влияние обновлённой статистики, связанной с созданием индекса.

1. РАЗРАБОТКА ДЕСКТОПНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

В данном разделе будет подробно описан процесс разработки десктопного приложения на языке Python, предназначенного для интерактивного анализа данных о глобальном энергопотреблении, хранящихся в базе данных PostgreSQL. Приложение обеспечивает функциональность по просмотру, фильтрации, редактированию данных, а также их визуализации.

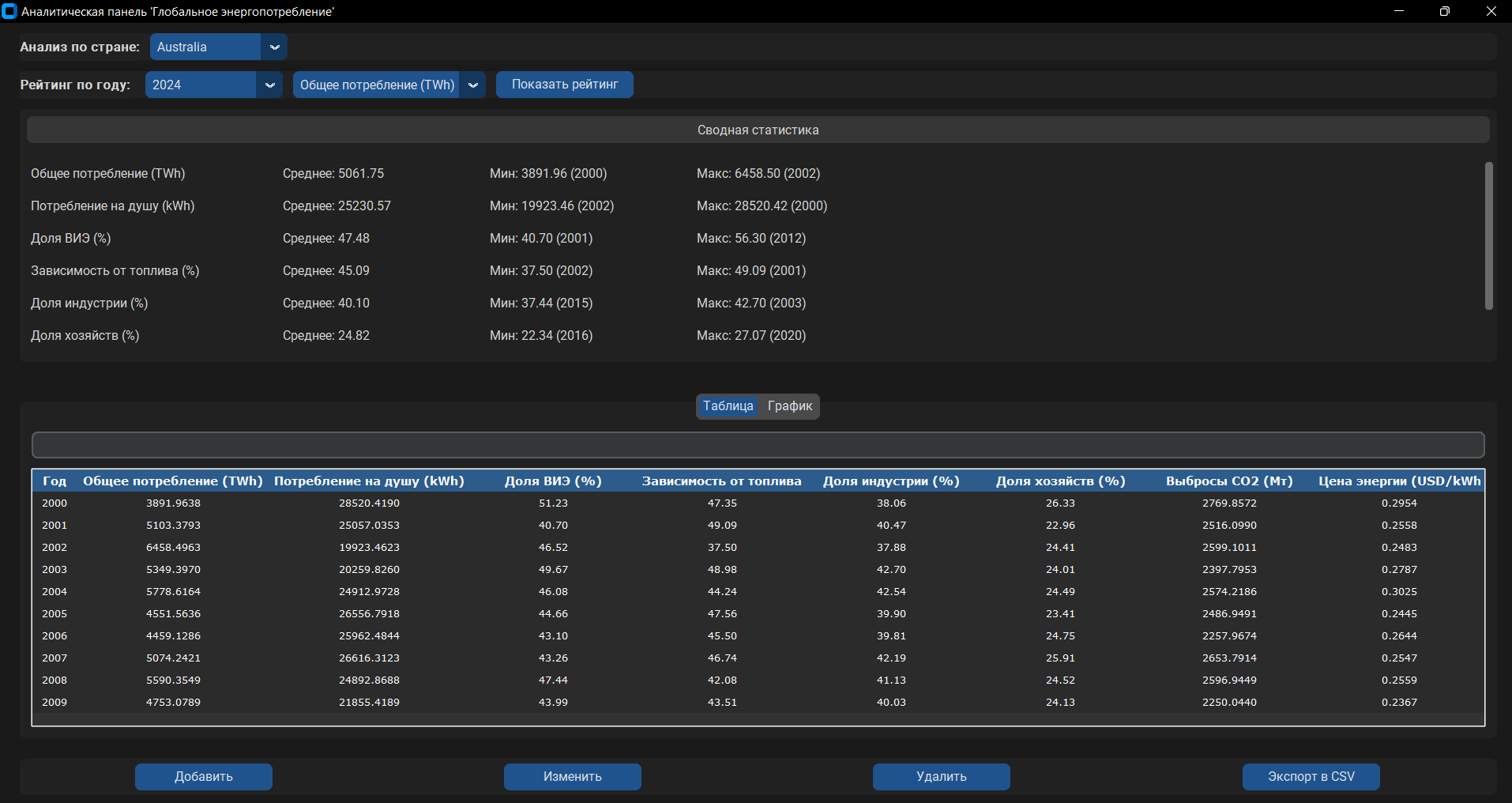


Рисунок 2 – Пользовательский интерфейс десктопного приложения

* 1. Цель и задачи интерфейса

**Цель разработки десктопного приложения:** Создание удобного и интуитивно понятного инструмента для пользователей, не обладающих глубокими знаниями в области баз данных, позволяющего эффективно исследовать и анализировать данные о глобальном энергопотреблении, полученные из PostgreSQL. Приложение должно облегчить процесс принятия решений, предоставляя наглядные графики и статистические показатели.

**Задачи, решаемые интерфейсом:**

1. **Доступ к данным:** Обеспечение стабильного и безопасного подключения к базе данных PostgreSQL.
2. **Навигация и выбор:** Предоставление возможности легко выбирать страны для анализа и переключаться между режимами просмотра (таблица, рейтинг).
3. **Просмотр данных:** Отображение структурированных данных в удобном табличном формате.
4. **Фильтрация и поиск:** Реализация механизмов поиска и фильтрации данных по заданным критериям для быстрого нахождения релевантной информации.
5. **Визуализация данных:** Построение динамических графиков для наглядного представления тенденций энергопопотребления по различным метрикам и годам.
6. **Статистический анализ:** Отображение сводной статистики (среднее, минимум, максимум) по ключевым показателям.
7. **Управление данными (CRUD):** Предоставление функций для добавления, редактирования и удаления записей в базе данных, обеспечивая актуальность и корректность информации.
8. **Экспорт данных:** Возможность экспорта просматриваемых данных в популярные форматы (например, CSV) для дальнейшего использования.
   1. Архитектура приложения и используемые технологии

Приложение разработано с использованием архитектуры, которая разделяет логику пользовательского интерфейса, бизнес-логику и слой доступа к данным. Это обеспечивает модульность, облегчает тестирование и сопровождение кода.

**Общая архитектура:**

**Уровень представления:** реализован с помощью библиотеки customtkinter, отвечающей за отображение пользовательского интерфейса и взаимодействие с пользователем.

**Уровень бизнес-логики:** содержит основную логику приложения, такую как обработка пользовательских запросов, фильтрация данных, расчет статистики и подготовка данных для визуализации.

**Уровень доступа к данным:** отвечает за взаимодействие с базой данных PostgreSQL. Использует библиотеку psycopg2 для выполнения SQL-запросов.

**Используемые технологии и библиотеки:**

1. **Python 3.x:** Основной язык программирования.
2. **customtkinter:** Модернизированная библиотека для создания графических пользовательских интерфейсов (GUI) на основе Tkinter. Предоставляет современный внешний вид и широкие возможности кастомизации.
3. **psycopg2:** Адаптер PostgreSQL для Python. Обеспечивает надежное и эффективное подключение к базе данных и выполнение SQL-операций.
4. **python-dotenv:** Библиотека для загрузки переменных окружения из .env файла. Используется для безопасного хранения учетных данных базы данных, предотвращая их прямое включение в исходный код.
5. **pandas:** Мощная библиотека для анализа и манипуляции данными. Используется для удобной работы с табличными данными, полученными из базы данных, перед их отображением или визуализацией.
6. **matplotlib:** Популярная библиотека для создания статических, анимированных и интерактивных визуализаций на Python. Используется для построения графиков временных рядов и других визуализаций.
7. **seaborn:** Библиотека для статистической визуализации данных, основанная на matplotlib. Позволяет создавать привлекательные и информативные графики. (Отмечено как закомментированное в коде, но может быть легко добавлено для корреляционных матриц).
8. **tkinter.ttk (Treeview):** Модуль для создания виджета табличного представления данных. customtkinter интегрируется с ним для отображения данных в таблицах.
9. **csv:** Встроенный модуль Python для работы с CSV-файлами, используемый для экспорта данных.

**Файловая структура проекта:**

.

├── main.py # Основной файл приложения

├── .env # Файл с переменными окружения (учетные данные БД)

└── global\_energy\_consumption.csv # Исходный датасет

Эта архитектура позволяет четко разделить ответственности и обеспечивает гибкость при дальнейшем развитии и модификации приложения.

* 1. Основной функционал приложения

Приложение предоставляет широкий спектр функций для анализа данных о глобальном энергопотреблении.

**1. Загрузка и фильтрация данных по странам и метрикам**

Приложение начинается с загрузки списка всех стран из таблицы Countries. Этот список используется для заполнения выпадающего меню (**CTkOptionMenu**) в верхней части интерфейса.

Когда пользователь выбирает страну из выпадающего списка (self.country\_menu), вызывается метод on\_country\_select. Этот метод:

1. Определяет country\_id выбранной страны.
2. Выполняет запрос к базе данных (fetch\_metrics\_for\_country) для получения всех метрик энергопотребления для выбранной страны по годам.
3. Заполняет виджет таблицы (ttk.Treeview) полученными данными.
4. Обновляет данные для построения графиков и расчета статистики.

Для **фильтрации данных** в таблице предусмотрено текстовое поле поиска. По мере ввода символов в это поле вызывается метод filter\_data. Этот метод фильтрует уже загруженные в приложение данные, отображая только те строки, которые содержат введенный пользователем текст в любом из своих столбцов.

**2. Визуализация данных (графики, таблицы)**

**Табличное представление:** Основные данные отображаются в виджете ttk.Treeview. Заголовки столбцов соответствуют названиям метрик (Год, Общее потребление, Доля ВИЭ и т.д.). Каждая строка представляет собой запись метрик для определенного года. Для улучшения читаемости реализовано чередование цветов строк.

**Графическое представление:** Приложение включает вкладку "График", где отображается динамика выбранной метрики для текущей страны с течением времени.

* **Выбор метрики:** Пользователь может выбрать любую из доступных метрик энергопотребления из выпадающего списка.
* **Динамическое построение:** При изменении выбора страны или метрики, метод plot\_data очищает текущий график, извлекает соответствующие данные (год и значения выбранной метрики) и строит новый линейный график с использованием matplotlib.
* **Интеграция с GUI:** График интегрирован в интерфейс с помощью FigureCanvasTkAgg, что позволяет ему динамически обновляться и масштабироваться внутри окна приложения.

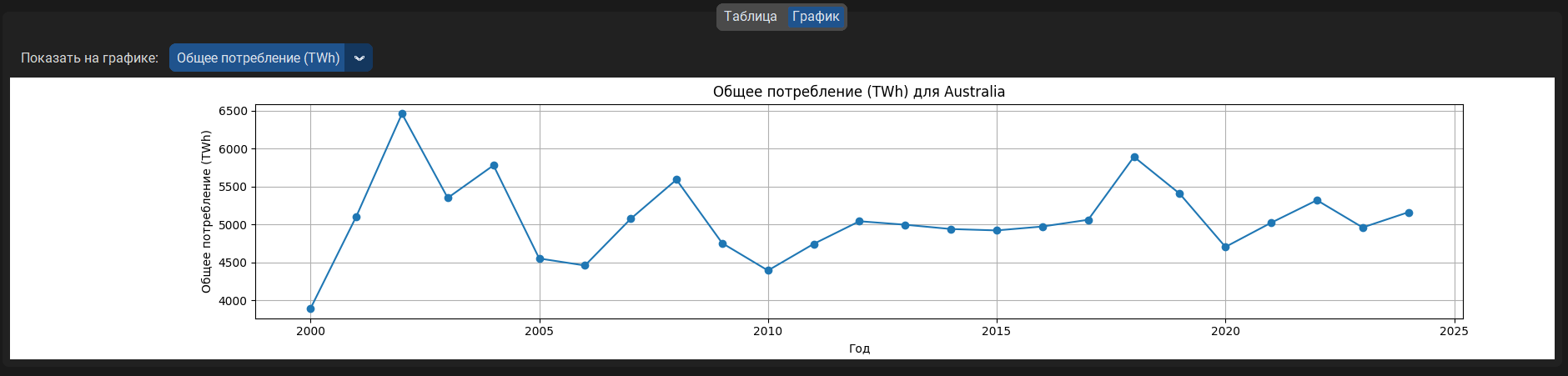
****

Рисунок 3 – График общее потребление по годам в Австралии

**3. Рейтинг стран по выбранной метрике**

Приложение предоставляет функциональность для построения рейтинга стран по любой из метрик за выбранный год.

* Пользователь выбирает год и метрику.
* При нажатии кнопки "Показать рейтинг" приложение выполняет запрос fetch\_yearly\_ranking. Этот запрос объединяет таблицы Countries и Energy\_Metrics, фильтрует данные по выбранному году и сортирует их по убыванию значения выбранной метрики.
* Результаты отображаются в таблице, которая временно перенастраивается для показа столбцов "Страна", "Год" и всех метрик.

**4. CRUD-операции (добавление, редактирование, удаление)**

Приложение поддерживает полный набор операций CRUD (Create, Read, Update, Delete) для записей в таблице Energy\_Metrics:

* **Добавление (Add):** При нажатии кнопки "Добавить" открывается новое окно. Пользователь вводит значения для всех метрик и года. Новая запись добавляется в Energy\_Metrics для текущей выбранной страны.
* **Редактирование (Edit):** При выборе строки в таблице и нажатии кнопки "Изменить" также открывается EditWindow, но уже с предзаполненными данными выбранной записи. Пользователь может изменить любые значения, после чего данные обновляются в базе данных.
* **Удаление (Delete):** При выборе строки и нажатии кнопки "Удалить" приложение запрашивает подтверждение, а затем удаляет соответствующую запись из Energy\_Metrics.

Все CRUD-операции сопровождаются сообщениями об успехе или ошибке и обновлением данных в интерфейсе.

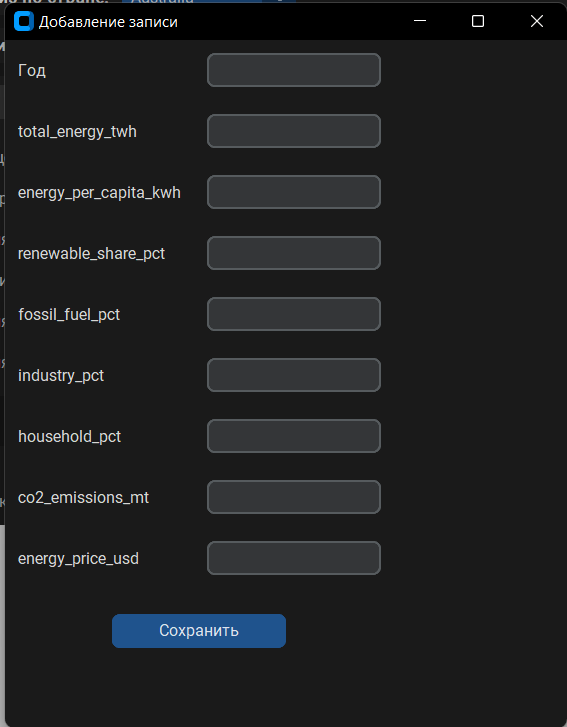


Рисунок 4 – Окно для добавления записи в таблицу

**5. Расчёт статистики и экспорт данных**

**Расчет статистики:** для выбранной страны приложение автоматически рассчитывает и отображает сводную статистику по каждой метрике:

* среднее значение: np.mean();
* минимальное значение и год его достижения: min() и поиск года;
* максимальное значение и год его достижения: max() и поиск года.

Эта статистика представлена в отдельной рамке и динамически обновляется при смене выбранной страны.

**Экспорт данных:** функция "Экспорт в CSV" позволяет пользователю сохранить текущие данные, отображаемые в таблице, в CSV-файл.

* При нажатии на кнопку, приложение запрашивает у пользователя место сохранения файла.
* Заголовки столбцов и все данные из ttk.Treeview извлекаются и записываются в CSV-файл с использованием стандартного модуля csv. Это удобная функция для пользователей, которым требуется дальнейший анализ данных вне приложения.

Разработанное приложение, благодаря использованию customtkinter и интеграции с PostgreSQL, предоставляет мощный и удобный инструмент для интерактивного анализа данных о глобальном энергопотреблении, поддерживая как просмотр, так и модификацию данных, а также их наглядную визуализацию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной курсовой работы было успешно разработано комплексное решение для анализа глобального энергопотребления по странам и секторам экономики за период 2000–2024 годов. Выполненные задачи охватывают полный цикл работы с данными: от их импорта и нормализации до интерактивного анализа и визуализации через десктопное приложение.

**Основные результаты, достигнутые в ходе работы:**

1. **Эффективная структура базы данных в PostgreSQL:** Произведен импорт исходного датасета с Kaggle в PostgreSQL. На основе принципов нормализации (до 3НФ) была спроектирована и реализована оптимальная реляционная модель, состоящая из таблиц Countries (справочник стран) и Energy\_Metrics (метрики энергопотребления). Это позволило устранить избыточность данных, обеспечить их целостность и значительно повысить эффективность хранения и обработки.
2. **Оптимизация производительности SQL-запросов:** Проведен детальный анализ производительности SQL-запросов с использованием инструмента EXPLAIN ANALYZE. Было наглядно продемонстрировано, как создание индексов на полях, используемых для фильтрации (renewable\_share\_pct, fossil\_fuel\_pct) и связывания таблиц (country\_id), радикально снижает время выполнения запросов и их ресурсную стоимость, переключая PostgreSQL с медленного последовательного сканирования на эффективное индексное сканирование.
3. **Разработка полнофункционального десктопного приложения:** Создано пользовательское приложение на Python с использованием библиотеки customtkinter, psycopg2 и matplotlib. Приложение обеспечивает:

**Интерактивный просмотр и фильтрацию данных:** Удобное отображение данных в табличном виде с возможностью фильтрации по странам и текстовому поиску.

**Динамическую визуализацию:** Построение графиков временных рядов для различных метрик энергопотребления выбранной страны, что позволяет быстро выявлять тенденции.

**Расчет и отображение статистики:** Предоставление сводной статистики (среднее, минимум, максимум с указанием года) по всем метрикам для выбранной страны.

**Функционал рейтинга стран:** Возможность формирования рейтинга стран по любой метрике за выбранный год.

**CRUD-операции:** Полная поддержка добавления, редактирования и удаления записей о метриках энергопотребления, что обеспечивает актуальность данных.

**Экспорт данных:** Возможность экспортировать отображаемые данные в формат CSV.

**Практическая значимость работы:** разработанное решение представляет собой ценный инструмент для специалистов и исследователей в области энергетики, экономики и экологии. Оно позволяет оперативно получать актуальную информацию о глобальных трендах в энергопотреблении, проводить сравнительный анализ между странами, оценивать эффективность энергетических политик и формировать обоснованные выводы. Открытый код и модульная архитектура делают приложение легко расширяемым и адаптируемым для анализа других наборов данных.

В заключение, данная курсовая работа успешно продемонстрировала применение теоретических знаний в области проектирования баз данных и администрирования, а также практических навыков разработки программного обеспечения, для решения реальной задачи анализа больших данных. Полученные результаты подтверждают эффективность выбранных подходов и технологий.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Документация по СУБД «PostgreSQL» - типы данных [Электронный ресурс] – URL: https://www.postgresql.org/docs/17/datatype.html (дата обращения: 28.04.2025).
2. Документация по СУБД «PostgreSQL» - запросы [Электронный ресурс] – URL: <https://www.postgresql.org/docs/17/queries.html> (дата обращения: 28.04.2025).
3. Документация по утилите «pg\_dump» из СУБД «PostgreSQL» [Электронный ресурс] – URL: <https://www.postgresql.org/docs/current/app-pgdump.html> (дата обращения: 05.05.2025).
4. Датасет Global Energy Consumption (2000-2024). URL: <https://www.kaggle.com/datasets/atharvasoundankar/global-energy-consumption-2000-2024> (дата обращения: 19.06.2025).
5. Документация по СУБД «PostgreSQL» - EXPLAIN ANALYZE [Электронный ресурс] – URL: <https://www.postgresql.org/docs/current/sql-explain.html> (дата обращения: 15.05.2025).
6. Исходный код десктопного приложения [Электронный ресурс] – URL: <https://github.com/ramizortiqov/global_energy> (дата обращения 16.05.2025).
7. Документация по Python-библиотекам [Электронные ресурсы]:

* customtkinter - URL: <https://customtkinter.tomschimansky.com/> ;
* psycopg2 - URL: <https://www.psycopg.org/docs/>;
* Matplotlib - URL: <https://matplotlib.org/stable/contents.html>;
* pandas - URL: <https://pandas.pydata.org/docs/> (дата обращения: 19.06.2025).