

Лабораторна робота №4

Розробка ETL-сценарію для системи TechMarket

Виконав: Кіщук Ярослав

Зміст

1	Вступ	2
2	Мета та завдання	2
3	Архітектура рішення	2
3.1	Загальна схема	2
3.2	Конфігурація та режими	3
4	Стадія Extract	3
4.1	OrdersExtractor	3
4.2	CatalogExtractor	3
4.3	PaymentsExtractor	3
4.4	Особливості екстракції	3
5	Стадія Transform	4
5.1	Очищення даних	4
5.2	Бізнес-трансформації	4
5.3	Приклад коду	4
6	Стадія Load	5
6.1	Завантаження вимірів	5
6.2	Факт-таблиця продажів	5
6.3	Підтримка dim_date та upsert	5
7	Оркестрація та автоматизація	5
7.1	ETLPipeline	5
7.2	CLI та приклади	5
7.3	Apache Airflow	6
8	Тестування та якість	6
9	Результати виконання	6
9.1	Продуктивність	6
9.2	Спостережність	6
10	Висновки	7

1 Вступ

Метою четвертої лабораторної роботи є побудова повноцінного процесу Extract–Transform–Load (ETL) для перенесення операційних даних системи TechMarket у аналітичне сховище даних. Рішення має забезпечувати стабільну синхронізацію між чотирма MySQL джерелами (`orders`, `catalog`, `payments`, `auth`) та PostgreSQL DWH, підтримувати як повні, так і інкрементальні завантаження, надавати механізми автоматизації (CLI, Apache Airflow) та покриття тестами.

Основні артефакти, створені в межах роботи:

- Python-пакет `etl/` з модулями `config`, `extract`, `transform`, `load`, `pipeline`.
- Документація та приклади запуску (`etl/README.md`, `etl/examples.py`, `etl/run_etl.py`).
- Оркестровка через Apache Airflow (`airflow/dags/techmarket_etl_dag.py`).
- Набір автоматизованих тестів із покриттям понад 90% (`etl/tests/`).

2 Мета та завдання

- Завдання 1:** Спроекувати універсальну конфігурацію підключень до MySQL та PostgreSQL, що зчитується зі змінних середовища (`ETLConfig.from_env()`).
- Завдання 2:** Реалізувати окремі екстрактори даних для кожної OLTP-бази з підтримкою фільтрації за періодами та роботи з великими наборами (`chunked pandas.read_sql`).
- Завдання 3:** Розробити модуль трансформації, який виконує очищення, валідацію типів, бізнес-розрахунки (`revenue`, `margin`, `discount`) та агрегації.
- Завдання 4:** Створити надійний завантажувач у DWH з підтримкою *replace*, *append* та *upsert* для вимірів і фактів.
- Завдання 5:** Забезпечити оркестрацію повного та інкрементального ETL, включно з автоматичним генератором календаря `dim_date`.
- Завдання 6:** Побудувати сценарії автоматизації: CLI-утиліту, Airflow DAG'и, Docker-орієнтоване оточення.
- Завдання 7:** Підготувати LaTeX-звіт, що фокусується на етапах Extract, Transform, Load та на русі даних між доменами.

3 Архітектура рішення

3.1 Загальна схема

ETL складається з п'яти модулів і працює поверх операційних MySQL баз із шаблоном *Database-per-Service*. Витягнуті дані потрапляють у PostgreSQL схему з шістьма вимірами (`dim_date`, `dim_region`, `dim_category`, `dim_product`, `dim_customer`, `dim_employee`) та однією факт-таблицею `fact_sales`.

Табл. 1: Основні компоненти ETL

Компонент	Функції
etl/config.py	Описує MySQLConfig, PostgreSQLConfig, агрегує все у ETLConfig. Формує рядки підключення <i>mysql+pymysql://</i> і <i>postgresql+psycopg2://</i> .
etl/extract.py	Узагальнений Extractor з ледачою ініціалізацією SQLAlchemy Engine. Спеціалізовані OrdersExtractor, CatalogExtractor, PaymentsExtractor.
etl/transform.py	DataCleaner (дублікати, пропуски, валідація типів) та DataTransformer (метрики, агрегації).
etl/load.py	Loader для dim/fact таблиць, генератор dim_date, truncate, upsert.
etl/pipeline.py	ETLPipeline координує сім кроків повного завантаження та інкрементальний сценарій.

3.2 Конфігурація та режими

Конфігурація зчитується з файлу `.env`. Ключові змінні: `ORDERS_DB_*`, `CATALOG_DB_*`, `PAYMENTS_DB_*`, `DWH_DB_*`, `ETL_INCREMENTAL`, `ETL_START_DATE`, `ETL_END_DATE`. Режими:

- **Full Load** — повне перезавантаження всіх вимірів і фактів, очищення `fact_sales`, генерація календаря за ± 365 днів.
- **Incremental Load** — фільтрація замовлень і платежів за датою, дозавантаження фактів без очищення, використовується як CLI-параметрами, так і Airflow DAG'ами.

4 Стадія Extract

4.1 OrdersExtractor

Модуль `OrdersExtractor.extract_orders()` виконує JOIN між `orders` та `order_items`, відбирає лише стани "paid", "shipped", "delivered", сортує за датою. Фільтри `start_date`, `end_date` додаються до WHERE, що забезпечує інкрементальність. Додаткові методи `extract_customers()`, `extract_employees()`, `extract_regions()` подають дані для відповідних вимірів.

4.2 CatalogExtractor

Постачає `products` з LEFT JOIN `categories`, збагачуючи товар ієрархією. Окремий метод `extract_categories()` впорядковує результати за батьківськими категоріями для коректного побудування дерева.

4.3 PaymentsExtractor

Повертає завершені платежі зі статусом `completed`, підтримує фільтрацію за датою платежу. Дані поєднуються з фактами продажів під час трансформації (зв'язок через `order_id`).

4.4 Особливості екстракції

- Ледаче створення SQLAlchemy Engine з `pool_pre_ping` та `pool_recycle`, щоб уникати збоїв тривалих з'єднань.
- Підтримка `chunksize` для обробки великих обсягів даних без перевантаження пам'яті.

- Централізоване логування (logging) із зазначенням бази-джерела.

5 Стадія Transform

5.1 Очищення даних

extttDataCleaner надає:

- **remove_duplicates** — видаляє дублікати за складеними ключами (наприклад, `order_id+order`).
- **handle_missing_values** — стратегії `drop`, `fill`, `forward_fill`; для товарів за замовчуванням підставляє "Опис відсутній".
- **validate_data_types** — приводить дати, числові значення та рядки до очікуваних типів із журналюванням помилок.

5.2 Бізнес-трансформації

extttDataTransformer.transform_orders() розраховує ключові метрики та готує дані до `fact_sales`:

- `revenue = unit_price * quantity`.
- `discount_amount = discount` (заповнюється нулями).
- `cost = revenue * 0.6` (припущення щодо собівартості).
- `margin = revenue - discount_amount - cost`.
- `date_key = int(order_date.strftime("%Y%m%d"))` для зв'язку з `dim_date`.

Інші методи трансформують клієнтів (нормалізовані `email`, `full_name`), продукти (заповнення відсутніх значень, приведення `price/stock_quantity`), а також агрегують продажі за періодами, товарами та менеджерами.

5.3 Приклад коду

Лістинг 1: Фрагмент трансформації замовлень

```
orders_df = transformer.cleaner.remove_duplicates(
    orders_df, subset=["order_id", "order_item_id"])
orders_df = transformer.cleaner.validate_data_types(orders_df, {
    "order_date": "datetime",
    "quantity": "int",
    "unit_price": "float"
})
orders_df["revenue"] = orders_df["unit_price"] * orders_df["quantity"]
orders_df["date_key"] = orders_df["order_date"].dt.strftime("%Y%m%d").
    astype(int)
```

6 Стадія Load

6.1 Завантаження вимірів

`Loader.load_dimension()` виконує `pandas.to_sql` із режимами `append/replace`, чанками по 1000 рядків. Для full-load всі `dim_*` таблиці перезбираються, щоб гарантувати узгоджені ключі.

6.2 Факт-таблиця продажів

Метод `load_fact_sales()` перевіряє наявність обов'язкових колонок (`order_id, product_id, revenue, ...`). Перед повним завантаженням викликається `truncate_table('fact_sales')`, тоді як інкрементальний режим просто `append` додає нові записи.

6.3 Підтримка `dim_date` та `upsert`

`load_dim_date()` створює календар на 730 днів довкола поточної дати. Для поступових оновлень вимірів застосовується `upsert_dimension()`, що розділяє `DataFrame` на нові та існуючі ключі, видаляє застарілі рядки та вставляє оновлені версії.

7 Оркестрація та автоматизація

7.1 ETLPipeline

Клас `ETLPipeline` інкапсулює послідовність із семи кроків (`_load_dim_date, _load_dim_region, ..., _load_fact_sales`). Повне завантаження виглядає як на листингу 2.

Лістинг 2: Запуск повного завантаження

```
from etl.config import ETLConfig
from etl.pipeline import ETLPipeline

config = ETLConfig.from_env()
pipeline = ETLPipeline(config)
results = pipeline.run_full_load()
```

Інкрементальний метод `run_incremental_load()` приймає `start_date/end_date` і викликає `_load_fact_sales_incremental()`. Після завершення `_cleanup()` закриває всі з'єднання.

7.2 CLI та приклади

Скрипт `etl/run_etl.py` надає інтерфейс:

- `python etl/run_etl.py -mode full`
- `python etl/run_etl.py -mode incremental -start-date 2024-01-01 -end-date 2024-01-31`
- Параметри `-env-file, -log-level`, валідація дат та запис логів одночасно у `stdout` і файл `etl.log`.

Файл `etl/examples.py` містить п'ять сценаріїв демонстрації (повне, інкрементальне, лише екстракція, трансформація, симуляція 7-денного ETL).

7.3 Apache Airflow

Файл `airflow/dags/techmarket_etl_dag.py` описує два DAG'и:

- **techmarket_etl_daily**: щоденне інкрементальне завантаження о 02:00 UTC. Завдання — перевірка OLTP, перевірка DWH, ETL, нотифікації про успіх/помилку. Параметри `DEFAULT_ARGS` задають `retries=2`, `retry_delay=5 хв`, `execution_timeout=2 год`.
- **techmarket_etl_weekly_full**: щонедільне повне завантаження о 03:00 UTC з більшим таймаутом (4 год). Використовує ті самі попередні перевірки.

8 Тестування та якість

Табл. 2: Покриття тестами

Модуль	Ключові сценарії
<code>test_config.py</code>	Перевірка <code>ETLConfig.from_env()</code> , коректності рядків підключення, значень <code>batch_size</code> і <code>log_level</code> .
<code>test_extract.py</code>	Моки з'єднань MySQL, фільтри дат, обробка винятків при недоступності бази.
<code>test_transform.py</code>	Валідність трансформацій: розрахунок метрик, усунення дублікатів, робота з пропусками, агрегування.
<code>test_load.py</code>	Тести <code>load_dimension</code> , <code>load_fact_sales</code> , <code>truncate_table</code> , <code>upsert_dimension</code> .
<code>test_pipeline.py</code>	Повний та інкрементальний флоу із використанням <code>MagicMock</code> .

Сумарно виконуються 51 тест (~93% coverage, згідно з `ETL_SUMMARY.md`). Команда запуску: `pytest etl/tests/ -cov=etl -cov-report=html`.

9 Результати виконання

9.1 Продуктивність

	Операція	Орієнтовний час
Вимірний час роботи:	Повне завантаження (50k+ записів)	2–5 хвилин
	Інкрементальне за 1 день (до 1k записів)	10–30 секунд
	Генерація <code>dim_date</code> (730 записів)	1–2 секунди
	Трансформація 1000 записів	< 1 секунди

9.2 Спостережність

- Усі модулі використовують `logging` з рівнями `INFO/DEBUG`. Логи CLI дублюються у `etl.log`.
- Airflow DAG'и push'ять статистику у XCom (`task_id=run_etl`, ключ `etl_results`) для подальших нотифікацій.

- Docker та Kubernetes сценарії описані в `ETL_SUMMARY.md`, що дозволяє швидко змінювати середовище виконання.

10 Висновки

Побудований ETL-сценарій відповідає вимогам лабораторної роботи №4:

- Виділено чіткі етапи Extract, Transform, Load із незалежними модулями та тестами.
- Забезпечено повторюваність завдяки конфігурації через `.env`, CLI та Airflow.
- Реалізовано механізми повного та інкрементального завантаження, включно з генерацією календаря та `upsert` для вимірів.
- Досягнуто високого рівня автоматизації та спостережності (логування, алерти, XCom статистика).