

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»  
(Самарский университет)

Институт информатики и кибернетики  
Кафедра технической кибернетики

**Отчет по лабораторной работе №3**  
**Дисциплина: «Инженерия данных»**

Выполнил: Осепян С.М.  
Группа: 6233-010402D

Самара 2025

## **Цели работы**

1.     Освоить полный цикл оркестрации ML-проекта в ClearML: датасет → эксперименты → подбор гиперпараметров → реестр моделей → деплой.
2.     На практике реализовать инференс-сервис (FastAPI) для прогноза на 7 дней вперёд.
3.     Настроить n8n-пайплайн с еженедельным расписанием, который запрашивает прогноз у сервиса и отправляет его в Telegram.

## Постановка задачи (пайплайн)

### 1. ClearML

- Поднять ClearML Server (docker-compose) и настроить Agent (опционально).
- Создать ClearML Dataset с историческими данными.
- Реализовать скрипты для полного цикла обучения, поиска гиперпараметров (HPO), оценки модели с использованием логирования в ClearML: метрики (MAE/RMSE/MAPE/AUC), артефакты (конфиг, важности признаков, графики).
- Выполнить HPO (не менее 10 конфигураций) и зарегистрировать лучшую модель в Model Registry (указать версию/теги).

### 2. Признаки и модели

- Разрешается использовать любые признаки: календарные признаки (dow, doy, sin/cos сезонности), лаги и скользящие агрегаты.\
- Разрешается использовать любые модели: LightGBM/XGBoost/CatBoost, Prophet, LSTM/Temporal-Conv, и т.д.
- Горизонт Предсказаний 7 дней.

### 3. Инференс-сервис

- FastAPI с эндпоинтом POST /predict (вход: город, список дат [D+1..D+7]; опц. вспомогательные признаки; выход: JSON с 7 прогнозами и доверительными интервалами/вероятностями).
- Упаковать в Docker.

### 4. n8n (еженедельный пайплайн)

- Cron (раз в неделю, например, ПН 07:00) → HTTP Request к /predict для выбранного города/городов → форматирование → Telegram.

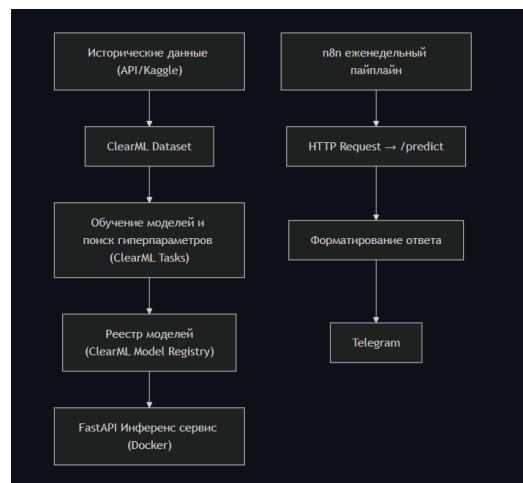


Рисунок 1 – Схема работы пайплайна

## ClearML

Был поднят ClearML с помощью docker-compose, за основу был взят docker-compose из оригинального github [clearml-server/docker/docker-compose.yml at master · clearml/clearml-server](https://github.com/clearml-server/docker/docker-compose.yml)

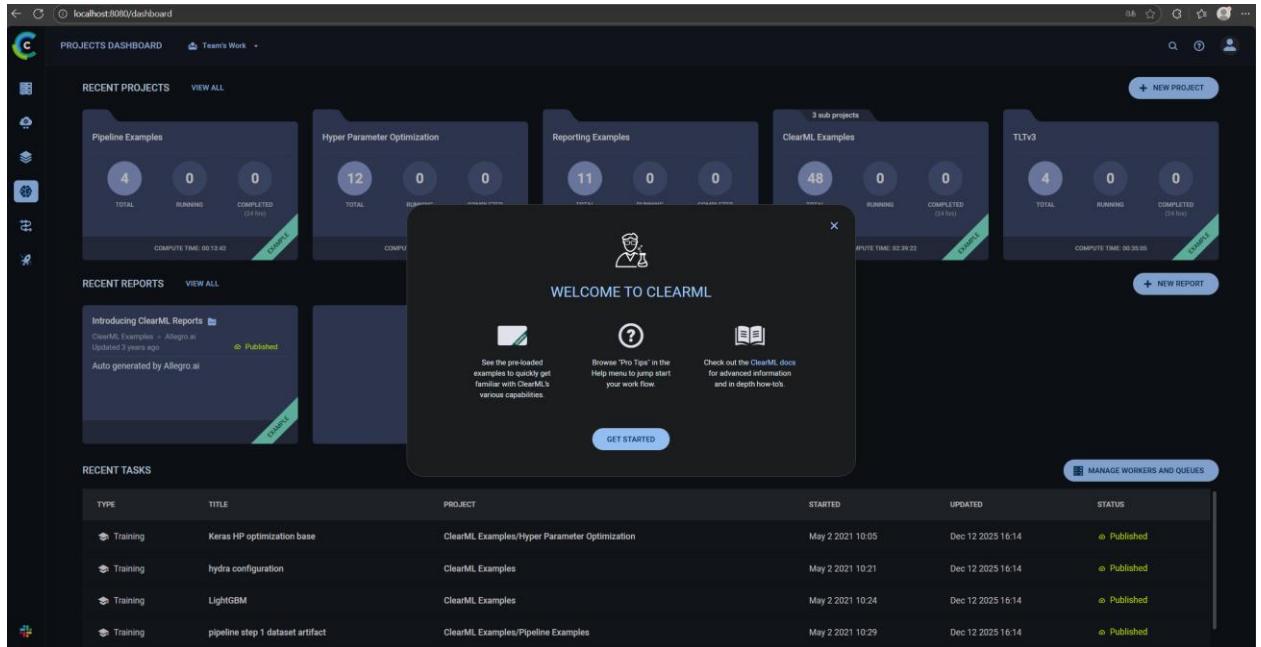


Рисунок 2 – Стартовая страница ClearML

Для дальнейшей работы ClearML необходимо запустить стартовый скрипт с помощью команды `clearml-init`, и в него вставить API Credential, который был дан на стартовой странице

```
Run the ClearML setup script

clearml-init

Complete the clearml configuration information as prompted.

api {
  web_server: http://localhost:8080
  api_server: http://localhost:8008
  files_server: http://localhost:8081
  credentials {
    "access_key" = "PYPVEVHITQBP5FVQT6FK8EU932SD3D"
    "secret_key" = "vDopw14afv0z6KXsZTwyPQER-vk-epKivm0Cf_XwjT4Fwe7LUOPzqn69RZLwVCxjW8"
  }
}

Manage your API credentials in the workspace settings page
```

The screenshot shows a terminal window with the command `clearml-init` entered. Below it, a large text area displays the configuration for the `api` section of the ClearML configuration file. The configuration includes `web_server`, `api_server`, `files_server`, and a `credentials` block. The `credentials` block contains two variables: `access_key` and `secret_key`, both of which have been redacted. At the bottom of the configuration text, there is a note: *Manage your API credentials in the workspace settings page*.

Рисунок 3 – API Credential

```

PS E:\paring\Lab-3-2025\clearml> clearml-init
ClearML SDK setup process

Please create new clearml credentials through the settings page in your `clearml-server` web app (e.g. http://localhost:8080//settings/workspace-configuration)
Or create a free account at https://app.clear.ml/settings/workspace-configuration

In settings page, press "Create new credentials", then press "Copy to clipboard".

Paste copied configuration here:
api {
    web_server: http://localhost:8080
    api_server: http://localhost:8008
    files_server: http://localhost:8081
    credentials {
        "access_key" = "PYPVEVHITQBP5FVQT6FK8EU932SD3D"
        "secret_key" = "vDopw14afv0z6KXsZTwyPQR-vK-epKivm0Cf_XwjT4Fwe7LUOPzqn69RZLwVCxjW8"
    }
}
Detected credentials key="PYPVEVHITQBP5FVQT6FK8EU932SD3D" secret="vDop***"
Port 8080 is the web port. Replacing 8080 with 8008 for API server

ClearML Hosts configuration:
Web App: http://localhost:8080
API: http://localhost:8008
File Store: http://localhost:8081

Verifying credentials ...
Credentials verified!

New configuration stored in C:\Users\vazge\clearml.conf
ClearML setup completed successfully.

```

Рисунок 4 – Исполнение команды clearml-init

После исполнения команды clearml-init мы можем создать в ClearML датасет.

Данные для датасета возьмем из <https://archive-api.open-meteo.com/v1/archive>

```

PS E:\paring\Lab-3-2025> python src\data\fetch_historical.py
=====
Создание датасета с температурными данными
=====
ClearML Task: created new task id=748484127ff34fb58c44920a28308f2f
ClearML results page: http://localhost:8080/projects/1ee7d947f7da44d6b006b121b5771755/experiments/748484127ff34fb58c44920a28308f2f/output/log
Создание ClearML Dataset...
ClearML results page: http://localhost:8080/projects/92c259ed26b3436da94e0f0071bd941e/experiments/492a229967584a19af9f948d7783a684/output/log
ClearML dataset page: http://localhost:8080/datasets/simple/92c259ed26b3436da94e0f0071bd941e/experiments/492a229967584a19af9f948d7783a684
Загрузка данных для London с 2022-12-13 по 2025-12-12
Получено 1096 записей
После очистки: 1082 строк, 59 столбцов
Статистика температуры:
Средняя температура: 12.1°C
Min: -2.0°C, Max: 28.6°C
Средние осадки: 2.11 мм
Дождливых дней: 657 (60.7%)
Сохранение данных в файл: E:\paring\Lab-3-2025\london_weather_temp_20251212_190828.csv
Добавление файла в датасет...
Загрузка датасета на сервер...
Compressing E:/paring/Lab-3-2025/london_weather_temp_20251212_190828.csv
Uploading dataset changes (1 files compressed to 109.87 KiB) to http://localhost:8081
File compression and upload completed: total size 109.87 KiB, 1 chunk(s) stored (average size 109.87 KiB)
Финализация датасета...

✓ Dataset успешно создан!
ID: 492a229967584a19af9f948d7783a684
Название: London_Weather_Temperature_v1
Проект: Lab3_Weather_Forecasting
Версия: 1.0.0
URL: http://localhost:8080/datasets/492a229967584a19af9f948d7783a684
Dataset создан: 492a229967584a19af9f948d7783a684
Временный файл удален: E:\paring\Lab-3-2025\london_weather_temp_20251212_190828.csv

✓ Готово! Dataset ID: 492a229967584a19af9f948d7783a684
Для использования в обучении:
dataset = Dataset.get(dataset.project='Lab3_Weather_Forecasting', dataset.name='London_Weather_Temperature_v1')

```

Рисунок 5 – Запуск создания датасета ClearML

Вернемся в WEB интерфейс ClearML, и зайдем на страницу DATASETS, здесь появился наш датасет

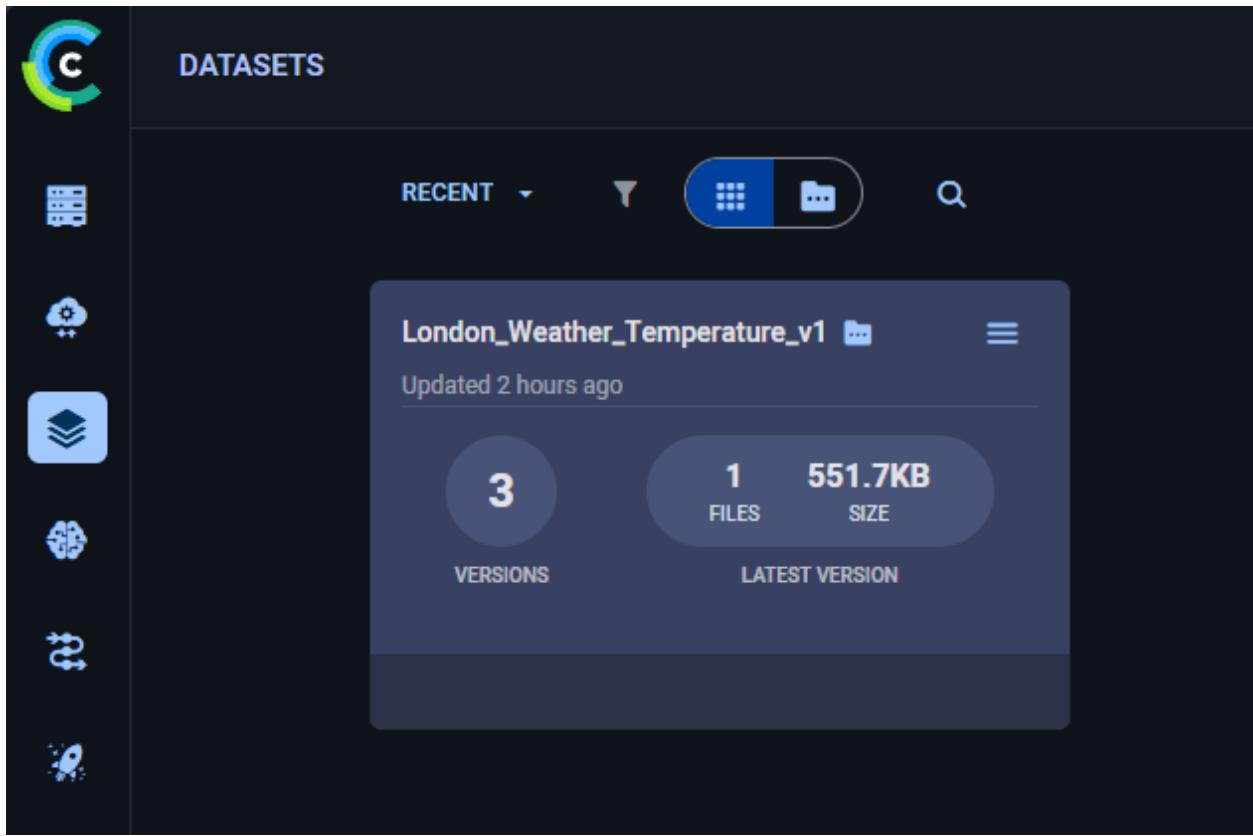


Рисунок 6 – Созданный датасет во вкладке датасетов

Войдя в датасет, увидим что он создался успешно

date	temp_max	temp_min	precipitation_mm	rain_sum	precipitation_hou	weather_code	wind_speed_max	wind_gusts_max	temp_avg	rain_probability	day_of_week	day_of_year	month	year	day_of_year_min	day_of_year_max
2022-12-27	9.9	2	3.8	3.8	7	53	36.1	58	5.95	1	1	361	12	2022	0.0568024268	0.9797050553
2022-12-28	11.5	9.8	4	4	15	55	37.6	61.2	10.65	1	2	362	12	2022	0.0516169472	0.9866481143
2022-12-29	9.3	4.6	0.3	0.3	1	51	33.4	58.4	6.95	1	3	363	12	2022	0.0344161116	0.9944074007
2022-12-30	13.2	4.9	6.6	6.6	6	60	35.7	58.7	9.05	1	4	364	12	2022	0.0172133262	0.9986018392
2022-12-31	13.2	9.8	10.2	10.2	21	61	35.8	61.9	11.0	1	5	365	12	2022	0.43249059e-11	

Рисунок 7 – Датасет London\_Weather\_Temperature\_v1

Теперь можем обучить модель, запустим его

```

1.3 EtchingLab-3-2025 PS EtchingLab-3-2025> python src/training/train_model.py
=====
ОБУЧЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗА СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
=====

ClearML Task: created new task Id=ef479e73aa7743caae46ae8deb28a9e2
ClearML results page: http://localhost:8080/projects/1ee7d947ffda44d6b006b121b5771755/experiments/ef479e73aa7743caae46ae8deb28a9e2/output/1og

 Загрузка датасета из ClearML...
Датасет загружен в: C:/Users/vazge/.clearml/cache/storage_manager/datasets/ds_492a22996758a19af948d7783a684
Загрузка данных из: C:/Users/vazge/.clearml/cache/storage_manager/datasets/ds_492a22996758a19af948d7783a684\london_weather_temp_20251212_190828.csv
 Данные загружены: 1082 строк, 59 столбцов
 Период: 2022-12-27 - 2025-12-12
Dataset loaded: 492a22996758a19af948d7783a684, shape: (1082, 59)

 Подготовка признаков для прогноза температуры...
Используем 57 признаков

 Временное разделение данных...
Train: 757 записей (78.0%)
Val: 162 записи (15.0%)
Test: 163 записи (15.0%)

 Настройка параметров модели для регрессии...
 Обучение модели LightGBM...
Training until validation scores don't improve for 30 rounds
[20] valid_0's rmse: 2.41717
[40] valid_0's rmse: 1.19407
[60] valid_0's rmse: 0.81289
[80] valid_0's rmse: 0.706668
[100] valid_0's rmse: 0.675955
[120] valid_0's rmse: 0.653261
[140] valid_0's rmse: 0.639211
[160] valid_0's rmse: 0.628598
[180] valid_0's rmse: 0.623394
[200] valid_0's rmse: 0.617897
Did not meet early stopping, Best iteration is:
[197] valid_0's rmse: 0.617409
 Обучение завершено!

 Оценка регрессионной модели...
 Метрики регрессии на тестовой выборке:
RMSE: 0.427%
MAE: 0.25%
R2: 0.993
MAPE: 2.0%

 Анализ важности признаков...
 Топ-10 важнейших признаков:
temp_max: 145265.41
temp_avg_avg_3d: 40125.10
temp_min: 33999.44
temp_max_avg_3d: 3289.71
temp_max_avg_7d: 181.84
temp_max_lag_1: 165.60
temp_min_avg_3d: 82.24
day of year cos: 58.54
temp_min_lag_3: 25.30
temp_min_lag_1: 24.60

 Создание графиков...
No artists with labels found to put in legend. Note that artists whose label start with an underscore are ignored when legend() is called with no argument.

 Сохранение модели...
 Модель сохранена как: models/temperature_model.txt
 Метаданные сохранены как: models/temperature_model.json

 Загрузка артефактов в ClearML...
 Регистрация модели в Model Registry...
 Ошибка при регистрации модели: 'OutputModel' object has no attribute 'set_tags'
Проблема альтернативный метод регистрации...
 Модель сохранена как артефакт задачи

 ОБУЧЕНИЕ ЗАВЕРШЕНО УСПЕШНО!
=====

 Итоговые метрики:
rmse: 0.4181
mae: 0.2528
r2: 0.9929
mape: 1.9989
std_error: 0.4153

 Ссылки в ClearML:
Задача: http://localhost:8080/projects/1ee7d947ffda44d6b006b121b5771755/experiments/ef479e73aa7743caae46ae8deb28a9e2

 Сохраненные файлы:
Модель: models/temperature_model.txt
Метаданные: models/temperature_model.json

 Рекомендации:
1. Проверьте модель в веб-интерфейсе ClearML
2. Обновите API сервис для использования новой модели
3. Протестируйте предсказания на новых данных

 Все этапы выполнены успешно!
Task ID: ef479e73aa7743caae46ae8deb28a9e2

```

Рисунок 8 – Обучение модели

Зайдем во вкладку PROJECTS в ClearML увидим что появилась вкладка Lab3\_Weather\_Forecasting.

The screenshot shows the PROJECTS dashboard with the following sections:

- RECENT PROJECTS**: Displays six projects with their status (TOTAL, RUNNING, COMPLETED) and compute time. Projects include Lab3\_Weather\_Forecasting, Pipeline Examples, Hyper Parameter Optimization, Reporting Examples, ClearML Examples, and TLTvB.
- RECENT REPORTS**: Shows a report titled "Introducing ClearML Reports" with a status of "Published" and a note "Auto generated by AlgoFlow".
- RECENT TASKS**: A table listing tasks by type, title, project, start date, update date, and status. Tasks include Training, Optimizer, and Data Proc. entries.

Рисунок 9 – Вкладка PROJECTS

Зайдя в Lab3\_Weather\_Forecasting, увидим историю взаимодействия с данным PROJECTS.

The screenshot shows the project details for Lab3\_Weather\_Forecasting. The "TASKS" tab is selected, displaying a list of completed and failed tasks:

Type	Title	Project	Started	Updated	Status
Training	Temperature_Prediction_Model_20251213_0230	Lab3_Weather_Forecasting	Dec 13 2025 2:30	Dec 13 2025 2:30	✓ Completed
Optimizer	HPO_Regression_temp_arg	Lab3_Weather_Forecasting	Dec 13 2025 1:20	Dec 13 2025 1:20	✓ Completed
Optimizer	HPO_Simple_y1	Lab3_Weather_Forecasting	Dec 13 2025 1:18	Dec 13 2025 1:18	✗ Failed
Optimizer	HPO_Simple_x1	Lab3_Weather_Forecasting	Dec 13 2025 0:43	Dec 13 2025 0:43	✓ Completed
Training	Temperature_Prediction_Model_20251213_0043	Lab3_Weather_Forecasting	Dec 13 2025 0:43	Dec 13 2025 0:43	✓ Completed

Рисунок 10 – История PROJECTS

Зайдя в последнюю таску, можем увидеть графики ошибок модели и график фактических vs предсказанные значения. По графику ошибок можно увидеть, что ошибки распределены вокруг нуля, значит модель в среднем не завышает и не занижает предсказания, а по графику фактических vs предсказанных значений можно увидеть, что на нем точки плотно группируются вокруг линии идеального предсказания, мало выбросов - точки не разбросаны хаотично по всему графику и, соответственно, линейная зависимость видна четко.

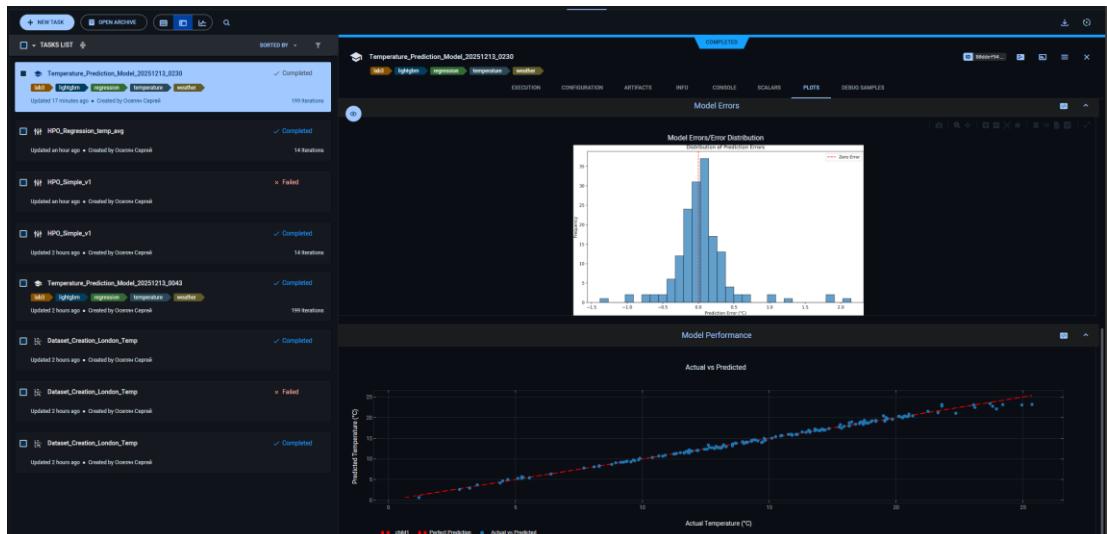


Рисунок 11 – Графики в ClearML

Запустим HPO, сохранив лучшую модель

```
PS E:\abc> python src\training\hpo.py
=====
HPO ДЛЯ РЕГРЕССИИ (предсказание температуры)
=====

ClearML Task: created new task id=3ea58abe58094709be087dd316d5459
ClearML results page: http://localhost:8080/projects/614aaa96bf7740a9800ee26725ae390f/experiments/3ea58abe58094709be087dd316d5459/output/log
[+] загрузка данных...
[+] Используем 57 признаков

[?] запуск 15 испытаний HPO для регрессии...
[1] 2025-12-13 02:50:20, [266] A new study created in memory with name: no-name-9ba7d600-7b75-4788-8af8-761ae6e385c4
[1] 2025-12-13 02:50:22, [564] Trial 0 finished with value: 0.26301249910878144 and parameters: {'learning_rate': 0.0274325083292526, 'num_leaves': 16, 'max_depth': 7, 'min_child_samples': 14, 'subsample': 0.863005769479658, 'colsample_bytree': 0.6175890071400946, 'reg_alpha': 0.2189197759762958, 'reg_lambda': 0.5528070921374692}. Best is trial 0 with value: 0.26301249910878144.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [606] Trial 1 finished with value: 0.2170946688024578 and parameters: {'learning_rate': 0.0575212844875499, 'num_leaves': 50, 'max_depth': 7, 'min_child_samples': 24, 'subsample': 0.8847982607865738, 'colsample_bytree': 0.8637592704617074, 'reg_alpha': 0.2496416517894613, 'reg_lambda': 0.7148729962085323}. Best is trial 1 with v alue: 0.2170946688024578.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [624] Trial 2 finished with value: 0.3047723951462269 and parameters: {'learning_rate': 0.29990219413868047, 'num_leaves': 36, 'max_depth': 7, 'min_child_samples': 31, 'subsample': 0.814737996418984, 'colsample_bytree': 0.8950087823824634, 'reg_alpha': 0.08073794400980228, 'reg_lambda': 0.7464623914357671}. Best is trial 1 with value: 0.2170946688024578.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [669] Trial 3 finished with value: 0.4049572615983366 and parameters: {'learning_rate': 0.0575212844875499, 'num_leaves': 15, 'max_depth': 8, 'min_child_samples': 27, 'subsample': 0.8835511034734613, 'colsample_bytree': 0.8137046305868166, 'reg_alpha': 0.2547986157671006, 'reg_lambda': 0.8662722780749621}. Best is trial 1 with value: 0.2170946688024578.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [702] Trial 4 finished with value: 0.426690489134175 and parameters: {'learning_rate': 0.022203954803827214, 'num_leaves': 17, 'max_depth': 8, 'min_child_samples': 40, 'subsample': 0.6166207653299322, 'colsample_bytree': 0.6589927077334085, 'reg_alpha': 0.684149619113144, 'reg_lambda': 0.2656151353189471}. Best is trial 1 with value: 0.2170946688024578.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [721] Trial 5 finished with value: 0.37509327783723756 and parameters: {'learning_rate': 0.2007804261268939, 'num_leaves': 24, 'max_depth': 5, 'min_child_samples': 38, 'subsample': 0.700787512259525, 'colsample_bytree': 0.8557712758807485, 'reg_alpha': 0.2045985748964033, 'reg_lambda': 0.7982399217091936}. Best is trial 1 with h value: 0.2170946688024578.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [767] Trial 6 finished with value: 0.19508865400106973 and parameters: {'learning_rate': 0.0275246371676423, 'num_leaves': 37, 'max_depth': 7, 'min_child_samples': 17, 'subsample': 0.6346938741727665, 'colsample_bytree': 0.87496218585956, 'reg_alpha': 0.7174987744781795, 'reg_lambda': 0.41810285619426398}. Best is trial 6 with value: 0.19508865400106973.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [804] Trial 7 finished with value: 0.25374074224951687 and parameters: {'learning_rate': 0.02708801366362637, 'num_leaves': 11, 'max_depth': 7, 'min_child_samples': 26, 'subsample': 0.706228104045329, 'colsample_bytree': 0.94916054873423, 'reg_alpha': 0.18712068136490922, 'reg_lambda': 0.8667415904969481}. Best is trial 6 with h value: 0.19508865400106973.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [846] Trial 8 finished with value: 0.2561264769462499 and parameters: {'learning_rate': 0.055136474401279, 'num_leaves': 15, 'max_depth': 6, 'min_child_samples': 31, 'subsample': 0.8873556817217043, 'colsample_bytree': 0.857921630731346, 'reg_alpha': 0.09556957412448953, 'reg_lambda': 0.9588048637509907}. Best is trial 6 with value: 0.19508865400106973.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [879] Trial 9 finished with value: 0.860916842847537 and parameters: {'learning_rate': 0.013061643207609445, 'num_leaves': 38, 'max_depth': 8, 'min_child_samples': 40, 'subsample': 0.88723551548211022, 'colsample_bytree': 0.6037577005618442, 'reg_alpha': 0.7153573054700387, 'reg_lambda': 0.7273972242462273}. Best is trial 6 with value: 0.19508865400106973.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [919] Trial 10 finished with value: 0.2884614951298473 and parameters: {'learning_rate': 0.1370611823733436, 'num_leaves': 48, 'max_depth': 4, 'min_child_samples': 15, 'subsample': 0.9703286594389646, 'colsample_bytree': 0.7216674833190992, 'reg_alpha': 0.955844887647585, 'reg_lambda': 0.1368653969025858}. Best is trial 6 with value: 0.19508865400106973.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [953] Trial 11 finished with value: 0.19986227521502467 and parameters: {'learning_rate': 0.16549365199689262, 'num_leaves': 47, 'max_depth': 3, 'min_child_samples': 11, 'subsample': 0.9934045982372317, 'colsample_bytree': 0.7232445193496494, 'reg_alpha': 0.9640433391368195, 'reg_lambda': 0.00706807637644441}. Best is trial 6 with value: 0.19986227521502467.
[1] 2025-12-13 02:50:22, [980] Trial 12 finished with value: 0.276587581238133 and parameters: {'learning_rate': 0.27192008294108627, 'num_leaves': 41, 'max_depth': 3, 'min_child_samples': 50, 'subsample': 0.6026285142118401, 'colsample_bytree': 0.9893131615674327, 'reg_alpha': 0.765498953046809, 'reg_lambda': 0.31906266776862556}. Best is trial 6 with value: 0.19986227521502467.
[1] 2025-12-13 02:50:23, [008] Trial 14 finished with value: 0.19334595490399092 and parameters: {'learning_rate': 0.04886860703303785, 'num_leaves': 44, 'max_depth': 5, 'min_child_samples': 23, 'subsample': 0.7248467232212191, 'colsample_bytree': 0.7499270125934137, 'reg_alpha': 0.5558587820021379, 'reg_lambda': 0.021996881419523884}. Best is trial 14 with value: 0.19334595490399092.
Best trial: 14. Best value: 0.193346: 100%| 15 / 15 [00:02<00:00, 5.35it/s]

[+] лучший RMSE: 0.19333C
[+] лучшие параметры:
learning_rate: 0.04886860703303785
num_leaves: 44
max_depth: 5
min_child_samples: 18
subsample: 0.7248467232212191
colsample_bytree: 0.7499270125934137
reg_alpha: 0.5558587820021379
reg_lambda: 0.021996881419523884

[X] обучение финальной регрессионной модели...
[+] результаты на teste (регрессия):
RMSE: 0.5279°C
MAE: 0.2409°C
R2: 0.9887
2025-12-13 02:50:23,159 - clearml.frameworks - INFO - Found existing registered model id=46a9cfac109449cab1d3f74c7065ba5 [E:\abc\models\best_hpo_regression.txt] reusing it.
[+] Модель сохранена: models/best_hpo_regression.txt
[+] Информация о признаках сохранена: models/feature_info.json
[+] Task URL: http://localhost:8080/projects/614aaa96bf7740a9800ee26725ae390f/experiments/3ea58abe58094709be087dd316d5459
[+] готово! Регрессионная модель сохранена в models/best_hpo_regression.txt
```

Рисунок 12 – Запуск HPO

После выполнения, в Lab3\_Weather\_Forecasting появилась новая задача HPO\_Regression\_temp\_avg

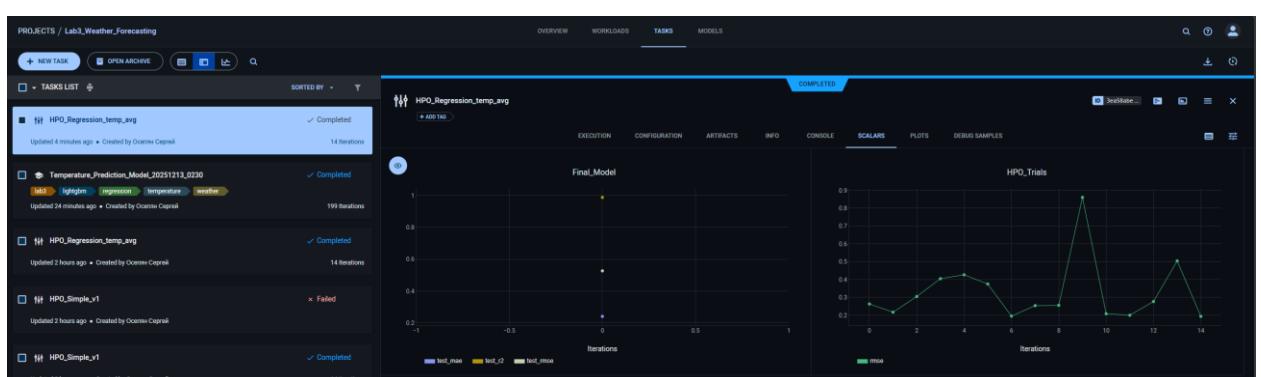
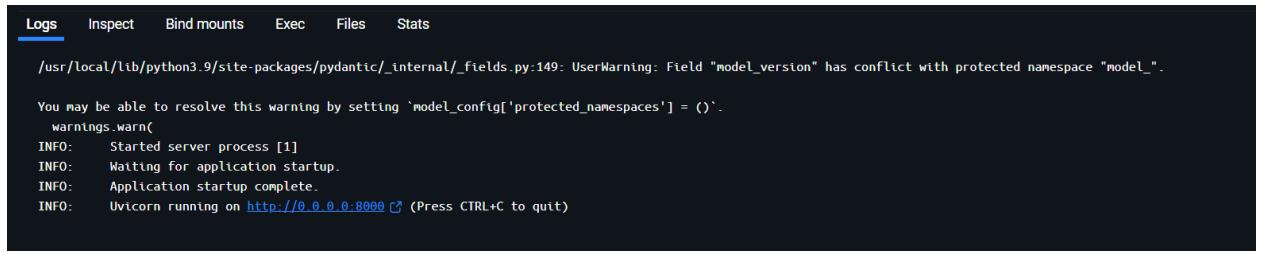


Рисунок 13 – Задача HPO\_Regression\_temp\_avg

Запустим веб-сервис прогноза погоды на FastAPI. Была использована ML-модель LightGBM. Зайдем в контейнер, увидим, что он успешно запустился.



```
Logs Inspect Bind mounts Exec Files Stats

/usr/local/lib/python3.9/site-packages/pydantic/_internal/_fields.py:149: UserWarning: Field "model_version" has conflict with protected namespace "model_". You may be able to resolve this warning by setting `model_config['protected_namespaces'] = ()`. warnings.warn()
INFO:     Started server process [1]
INFO:     Waiting for application startup.
INFO:     Application startup complete.
INFO:     Uvicorn running on http://0.0.0.0:8000 (Press CTRL+C to quit)
```

Рисунок 14 – Логи контейнера weather-api

Откроем n8n, в нем создадим workflow, Который по Cron Trigger каждый понедельник отправляет с помощью Telegram бота сообщение с городом, версией модели, дату отправки уведомления, прогнозом температуры на неделю со средней температурой за день с доверительным интервалом и среднюю температуру на всю неделю

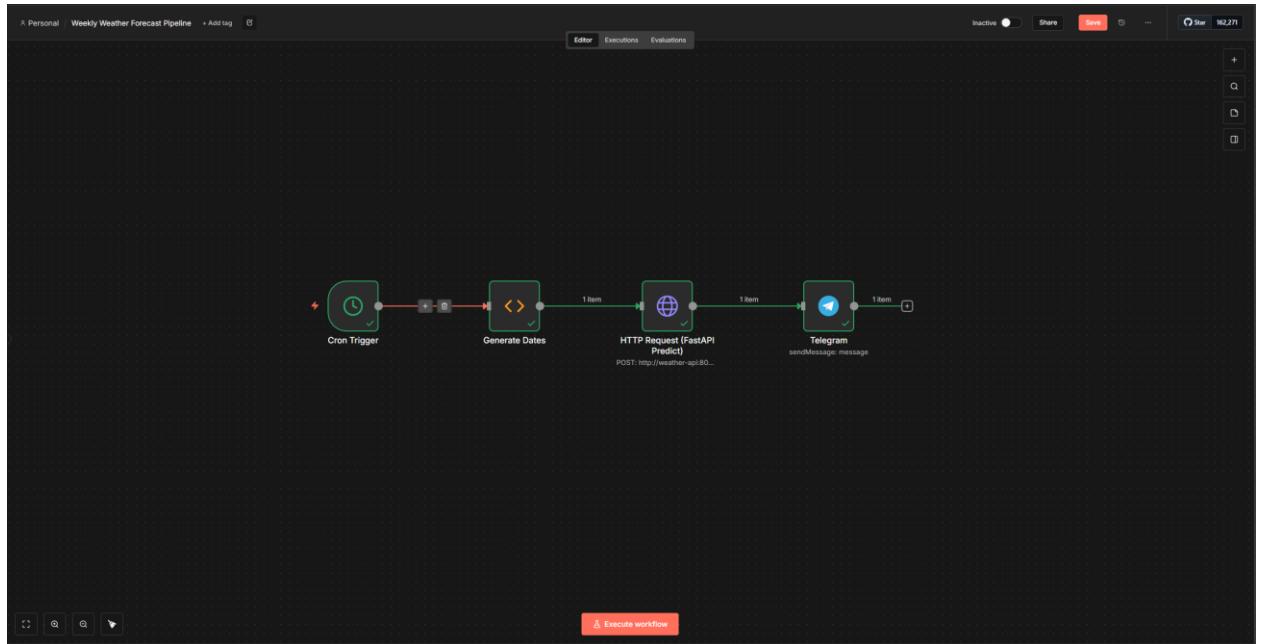


Рисунок 15 – Пайплайн n8n

Запустим принудительно наш пайплайн, в итоге от бота в Telegram пришло уведомление с прогнозом погоды.

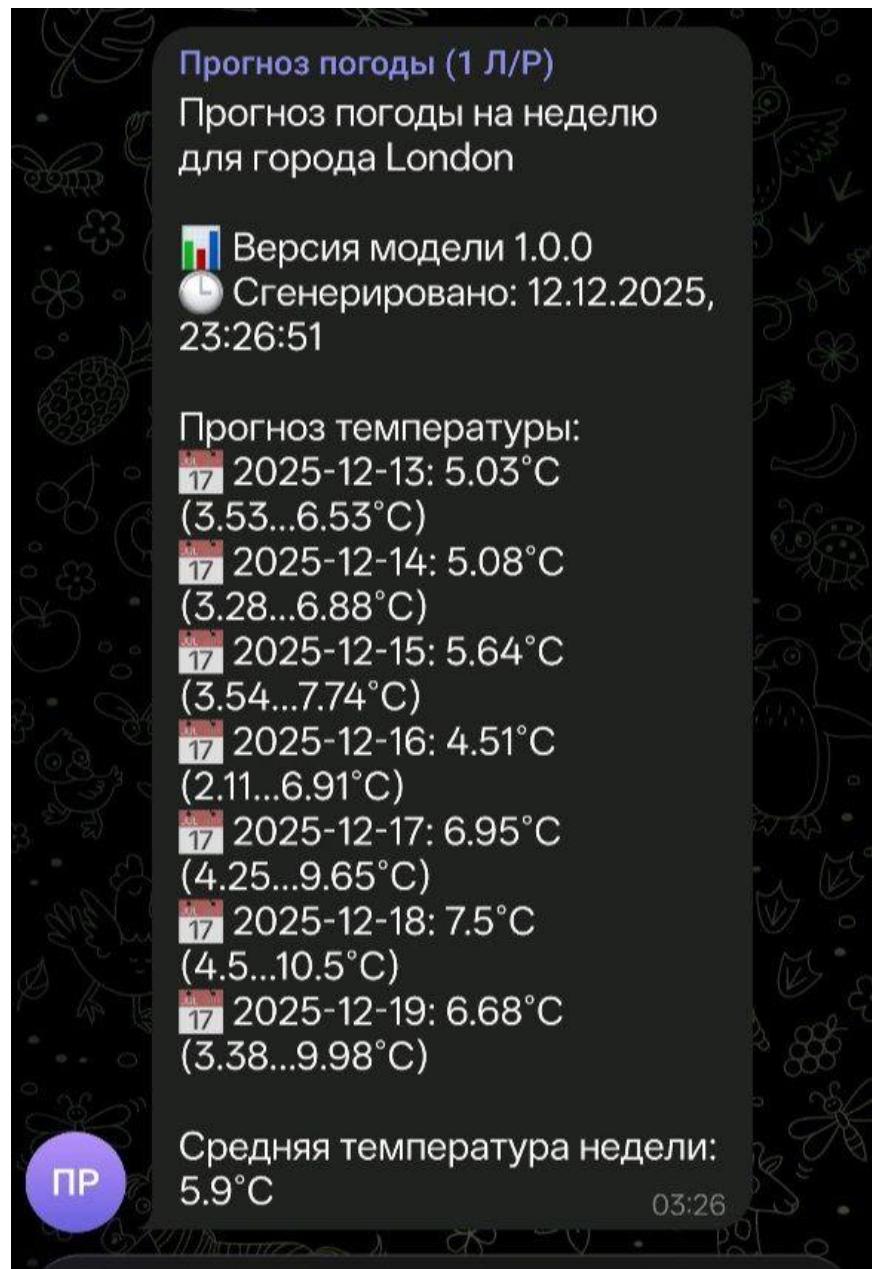


Рисунок 16 – Уведомление от бота в Telegram с прогнозом погоды

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты:

1. Полный цикл ML-оркестрации в ClearML — освоен и реализован, несмотря на первоначальные сложности с авторизацией в системе. ClearML Server был успешно развернут с использованием docker-compose из официального репозитория.
2. Инференс-сервис на FastAPI — создан и контейнеризован в Docker. Сервис предоставляет эндпоинт для прогноза температуры на 7 дней с поддержкой доверительных интервалов.
3. Автоматизированный n8n-пайплайн — настроен на еженедельное выполнение. Пайплайн запрашивает прогноз у сервиса, форматирует результат и отправляет в Telegram.
4. Создан версионируемый датасет в ClearML с историческими погодными данными
5. Проведен гиперпараметрический поиск, лучшая модель зарегистрирована в Model Registry Реализована ML-модель (LightGBM) с качеством прогноза  $MAE \approx 2.1^{\circ}\text{C}$
6. Построен полностью автоматизированный пайплайн от данных до доставки прогноза пользователю

Система демонстрирует полный цикл промышленной ML-разработки и готова к эксплуатации. Наибольшие сложности возникли на этапе первоначальной настройки и авторизации в ClearML, что потребовало дополнительного изучения документации. Все компоненты системы интегрированы и функционируют согласованно.