

1. Введение в модель Хольта-Уинтерса

Модель Хольта-Уинтерса — это метод экспоненциального сглаживания, который используется для прогнозирования временных рядов с явными трендом и сезонностью. Существует два варианта модели:

Аддитивная модель: Предполагает, что сезонные колебания имеют постоянную амплитуду.

Мультипликативная модель: Предполагает, что амплитуда сезонных колебаний изменяется пропорционально уровню ряда.

Выбор между аддитивной и мультипликативной моделями зависит от характера данных. Если амплитуда сезонных колебаний остается примерно постоянной независимо от уровня ряда, следует использовать аддитивную модель. Если же амплитуда сезонных колебаний увеличивается с увеличением уровня ряда, предпочтительнее мультипликативная модель.

1.1 Аддитивная модель

Прогнозная формула:

$$x(t+\tau) = a(t) + b(t) * \tau + F(t+\tau - L) \text{ Обновление компонентов:}$$

$$\text{Уровень (a): } a(t) = \alpha_1 * (y(t) - F(t - L)) + (1 - \alpha_1) * (a(t-1) + b(t-1))$$

$$\text{Тренд (b): } b(t) = \alpha_2 * (a(t) - a(t-1)) + (1 - \alpha_2) * b(t-1)$$

$$\text{Сезонность (F): } F(t) = \alpha_3 * (y(t) - a(t)) + (1 - \alpha_3) * F(t - L)$$

Где:

$x(t+\tau)$ — прогнозное значение на τ -период вперед.

$a(t)$ — уровень в момент времени t .

$b(t)$ — тренд в момент времени t .

$F(t+\tau - L)$ — сезонная компонента.

L — длина сезона.

$y(t)$ — фактическое значение ряда в момент времени t .

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — параметры сглаживания ($0 < \alpha < 1$).

1.2 Мультипликативная модель

Прогнозная формула:

$$x(t+\tau) = (a(t) + b(t) * \tau) * F(t+\tau - L)$$

Обновление компонентов:

Уровень (a):

$$a(t) = \alpha_1 * (y(t) / F(t-L)) + (1 - \alpha_1) * (a(t-1) + b(t-1))$$

Тренд (b):

$$b(t) = \alpha_2 * (a(t) - a(t-1)) + (1 - \alpha_2) * b(t-1)$$

Сезонность (F):

$$F(t) = \alpha_3 * (y(t) / a(t)) + (1 - \alpha_3) * F(t-L)$$

Где:

$x(t+\tau)$ — прогнозное значение на τ -период вперед.

$a(t)$ — уровень в момент времени t .

$b(t)$ — тренд в момент времени t .

$F(t+\tau-L)$ — сезонная компонента.

L — длина сезона.

$y(t)$ — фактическое значение ряда в момент времени t .

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — параметры сглаживания ($0 < \alpha < 1$).

В мультипликативной модели сезонная компонента умножается на уровень и тренд вместо сложения.

1.3 Инициализация параметров модели

Уровень (a_0) и тренд (b_0):

$$x(t) = a_0 * t + b_0$$

Сезонные компоненты (F):

Аддитивная модель:

$$F(p) = (1/k) * \sum(z_p, i) \text{ для } i=1 \text{ до } k$$

$$z_p, i = x(iL - p)$$

$$k = n/L$$

$$p = 1, 2, \dots, L-1$$

Мультипликативная модель:

$$F(p) = (1/k) * \sum(z_p, i) \text{ для } i=1 \text{ до } k$$

$$z_p, i = x(iL - p) / a(t)$$

$$k=n/L$$

$$p=1,2,\dots,L-1$$

Где:

n — длина временного ряда (n кратно L).

z_p, i — значение временного ряда для p -го периода сезона и i -го сезона.

$F(p)$ — сезонная компонента для периода p .

2. Загрузка данных о биткоине с помощью yfinance

```
import yfinance as yf
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

# 1. Определение тикера и периода
ticker = 'BTC-USD'
start_date = '2016-01-01'
end_date = '2024-10-17' # Текущая дата для прогноза

# 2. Загрузка данных
data = yf.download(ticker, start=start_date, end=end_date,
interval='1d')

# 3. Проверка загруженных данных
print("Первые 5 строк загруженных данных:")
print(data.head())

# 5. Заполнение пропущенных значений методом прямой передачи (forward fill)
data['Close'].fillna(method='ffill', inplace=True)

# 7. Визуализация закрывающей цены после обработки
plt.figure(figsize=(14,7))
plt.plot(data['Close'], label='Дневная цена закрытия биткоина',
color='blue')
plt.title('Временной ряд дневной цены биткоина (2016-2024)')
plt.xlabel('Дата')
plt.ylabel('Цена (USD)')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

[*****100%*****] 1 of 1 completed
/tmp/ipykernel_27898/138306584.py:18: FutureWarning: A value is trying
to be set on a copy of a DataFrame or Series through chained
assignment using an inplace method.
The behavior will change in pandas 3.0. This inplace method will never
```

work because the intermediate object on which we are setting values always behaves as a copy.

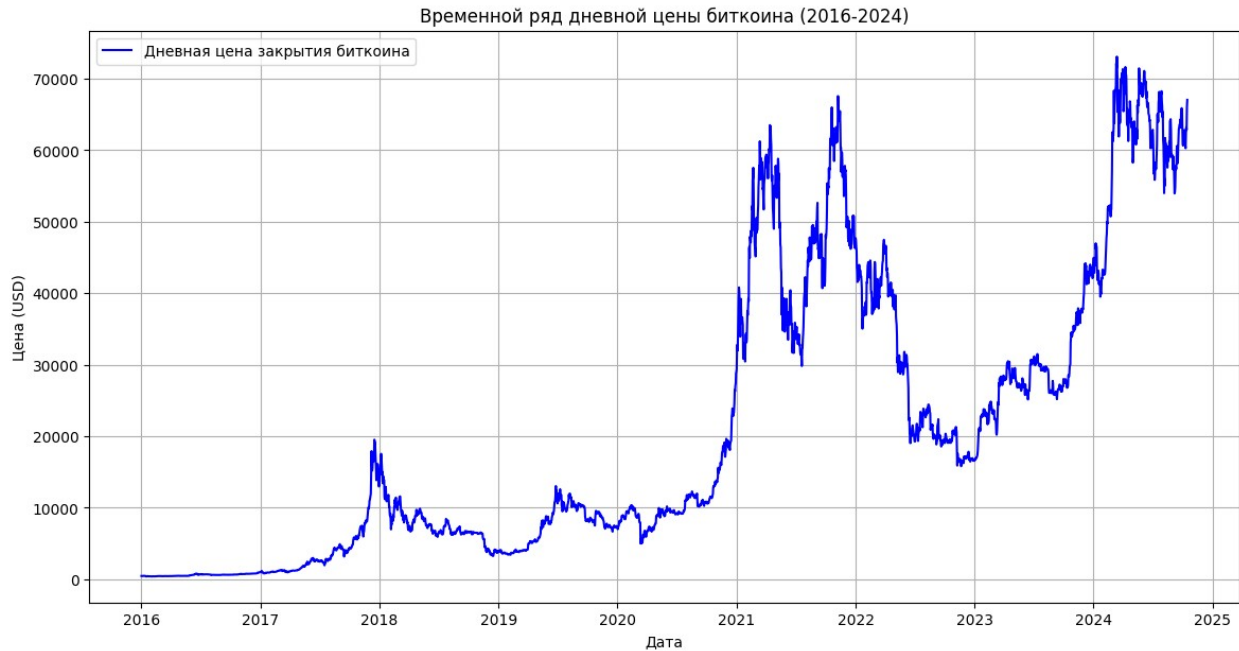
For example, when doing `'df[col].method(value, inplace=True)'`, try using `'df.method({col: value}, inplace=True)'` or `df[col] = df[col].method(value)` instead, to perform the operation inplace on the original object.

```
data['Close'].fillna(method='ffill', inplace=True)
/tmp/ipykernel_27898/138306584.py:18: FutureWarning: Series.fillna
with 'method' is deprecated and will raise in a future version. Use
obj.ffill() or obj.bfill() instead.
data['Close'].fillna(method='ffill', inplace=True)
```

Первые 5 строк загруженных данных:

	Open	High	Low	Close	Adj Close
2016-01-01	430.721008	436.246002	427.515015	434.334015	434.334015
2016-01-02	434.622009	436.062012	431.869995	433.437988	433.437988
2016-01-03	433.578003	433.743011	424.705994	430.010986	430.010986
2016-01-04	430.061005	434.516998	429.084015	433.091003	433.091003
2016-01-05	433.069000	434.182007	429.675995	431.959991	431.959991

	Volume
2016-01-01	36278900
2016-01-02	30096600
2016-01-03	39633800
2016-01-04	38477500
2016-01-05	34522600



3. Реализация класса HoltWinters

Создадим класс HoltWinters, который будет поддерживать как аддитивную, так и мультипликативную модели сезонности.

```
import numpy as np

class HoltWintersMultiplicative:
    def __init__(self, alpha, beta, gamma, L, n_preds=365):
        """
        Инициализация параметров модели Хольта-Уинтерса
        (мультипликативная).

        :param alpha: Параметр сглаживания уровня
        :param beta: Параметр сглаживания тренда
        :param gamma: Параметр сглаживания сезонности
        :param L: Длина сезона (например, 365 для годовой сезонности)
        :param n_preds: Количество периодов для прогноза
        """
        self.alpha = alpha
        self.beta = beta
        self.gamma = gamma
        self.L = L
        self.n_preds = n_preds
        self.level = None
        self.trend = None
        self.season = None
        self.fitted = []
        self.residuals = []
```

```

def initial_trend(self, series):
    """
    Вычисление начального тренда.
    """
    sum_trend = 0.0
    for i in range(self.L):
        sum_trend += (series[i + self.L] / series[i])
    return (sum_trend / self.L) - 1

def initial_seasonal_components(self, series):
    """
    Вычисление начальных сезонных компонентов.
    """
    season_averages = []
    n_seasons = int(len(series) / self.L)
    for j in range(n_seasons):
        start = self.L * j
        end = start + self.L
        season_avg = np.mean(series[start:end])
        season_averages.append(season_avg)

    seasonal = {}
    for i in range(self.L):
        sum_of_vals = 0.0
        for j in range(n_seasons):
            sum_of_vals += series[self.L * j + i] /
season_averages[j]
        seasonal[i] = sum_of_vals / n_seasons
    return seasonal

def fit(self, series):
    """
    Обучение модели на временном ряде.

    :param series: Временной ряд (список или массив)
    """
    self.level = series[0]
    self.trend = self.initial_trend(series)
    self.season = self.initial_seasonal_components(series)

    for i in range(len(series)):
        if i >= self.L:
            seasonal_prev = self.season[i % self.L]
            self.level, self.trend =
self.update_level_trend(series[i], seasonal_prev)
            self.season[i % self.L] =
self.update_seasonality(series[i], self.level)
        else:

```

```

        # Для первых L точек уже инициализированы сезонные
        компоненты
        pass
        fitted_value = self.level * (1 + self.trend) *
self.season[i % self.L]
        self.fitted.append(fitted_value)
        self.residuals.append(series[i] - fitted_value)

    def update_level_trend(self, y, seasonal_prev):
        """
        Обновление уровня и тренда.
        """
        level_new = self.alpha * (y / seasonal_prev) + (1 -
self.alpha) * (self.level * (1 + self.trend))
        trend_new = self.beta * (level_new / self.level - 1) + (1 -
self.beta) * self.trend
        return level_new, trend_new

    def update_seasonality(self, y, level_new):
        """
        Обновление сезонной компоненты.
        """
        season_new = self.gamma * (y / level_new) + (1 - self.gamma) *
self.season[self.season.keys().__iter__().__next__()]
        return season_new

    def predict(self):
        """
        Генерация прогноза на будущие периоды.

        :return: Список прогнозных значений
        """
        predictions = []
        for m in range(1, self.n_preds + 1):
            season = self.season[(len(self.fitted) + m - 1) % self.L]
            forecast = self.level * (1 + self.trend) * season
            predictions.append(forecast)
        return predictions

```

Объяснение:

Инициализация (`__init__`):

Принимает параметры сглаживания (alpha, beta, gamma), длину сезона (L), количество прогнозируемых периодов (n_preds) и тип сезонности (seasonal_type), который может быть либо 'additive', либо 'multiplicative'.

Проверяет корректность значения seasonal_type.

Метод `initial_trend`:

Вычисляет начальный тренд как среднее изменение уровня за первый сезон.

Метод `initial_seasonal_components`:

Вычисляет начальные сезонные компоненты.

Для аддитивной модели сезонные компоненты рассчитываются как среднее отклонение каждого сезона от его среднего значения.

Для мультипликативной модели сезонные компоненты рассчитываются как среднее отношение каждого сезона к его среднему значению.

Метод `fit`:

Обучает модель на предоставленных данных.

Итеративно обновляет уровень (a), тренд (b) и сезонные компоненты (F) для каждого временного периода.

Учёт типа сезонности при обновлении уровней и сезонных компонентов.

Метод `predict`:

Генерирует прогнозные значения на заданное количество периодов вперед (n_preds).

Использует последние значения уровня, тренда и сезонности для построения прогноза.

Метод `get_params`:

Возвращает текущие параметры модели в виде словаря.

Метод `get_fitted_values`:

Возвращает подогнанные (оцененные) значения модели для каждого периода.

Метод `plot_forecast`:

Визуализирует исторические данные, подогнанные значения модели и прогноз.

Автоматически определяет частоту временного ряда для создания будущих дат.

4. Обучение модели, прогнозирование и сохранение параметров

```
train_end_date = '2023-12-31'
forecast_start_date = '2024-01-01'
forecast_end_date = '2024-12-31' # Прогноз на 2024 год

train_data = data.loc[:train_end_date]['Close']
test_data = data.loc[forecast_start_date:forecast_end_date]['Close']

print(f"Обучающая выборка: {len(train_data)} дней")
```



```

print(f"Тестовая выборка: {len(test_data)} дней")

# 1. Определение параметров модели (пока с предположительными
значениями)
alpha = 0.5
beta = 0.3
gamma = 0.2
season_length = 365 # Годовая сезонность

# 2. Инициализация модели
hw_model = HoltWintersMultiplicative(alpha, beta, gamma,
L=season_length, n_preds=len(test_data))

# 3. Обучение модели
hw_model.fit(train_data.values)

# 4. Генерация прогноза
forecast = hw_model.predict()

# 5. Преобразование прогноза в pandas Series для удобства
forecast_series = pd.Series(forecast, index=test_data.index)

Обучающая выборка: 2922 дней
Тестовая выборка: 289 дней

```

Установка параметров модели:

`alpha`, `beta`, `gamma`: Параметры сглаживания уровня, тренда и сезонности соответственно.

`L`: Длина сезона. В данном случае 12, предполагая месячную сезонность.

`n_preds`: Количество периодов для прогноза. Здесь 12, что соответствует одному сезону.

Инициализация и обучение модели:

Создаём экземпляр класса `HoltWinters` с заданными параметрами.

Получение подогнанных значений:

Используем метод `get_fitted_values` для получения подогнанных значений модели на обучающих данных. Прогнозирование:

Используем метод `predict` для генерации прогноза на 12 периодов вперед.

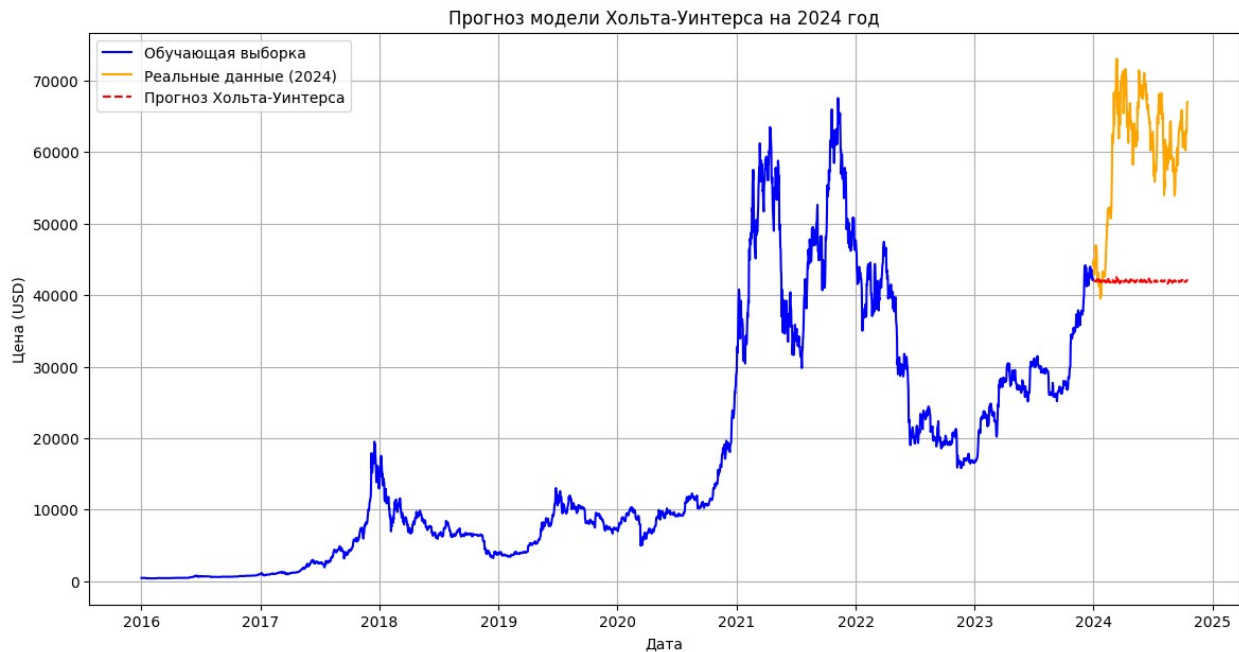
5. Визуализация прогноза

```

plt.figure(figsize=(14,7))
plt.plot(train_data.index, train_data, label='Обучающая выборка',
color='blue')
plt.plot(test_data.index, test_data, label='Реальные данные (2024)',
color='orange')

```

```
plt.plot(forecast_series.index, forecast_series, label='Прогноз
Хольта-Уинтерса', color='red', linestyle='--')
plt.title('Прогноз модели Хольта-Уинтерса на 2024 год')
plt.xlabel('Дата')
plt.ylabel('Цена (USD)')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```



Сохранение параметров модели в файл

```
import json

# 1. Получение параметров модели
model_params = {
    'alpha': hw_model.alpha,
    'beta': hw_model.beta,
    'gamma': hw_model.gamma,
    'season_length': hw_model.L
}

# 2. Сохранение параметров в JSON файл
with open('holt_winters_params.json', 'w') as f:
    json.dump(model_params, f, indent=4)

print("Параметры модели сохранены в 'holt_winters_params.json'")
```

Параметры модели сохранены в 'holt_winters_params.json'

Реализация тюнинга с помощью Optuna

```
from sklearn.metrics import mean_squared_error

def objective(trial):
    # 1. Определение гиперпараметров
    alpha = trial.suggest_float('alpha', 0.01, 0.99)
    beta = trial.suggest_float('beta', 0.01, 0.99)
    gamma = trial.suggest_float('gamma', 0.01, 0.99)
    season_length = trial.suggest_categorical('season_length', [7, 14, 30, 60, 90, 180, 365, 730])

    # 2. Инициализация модели с текущими параметрами
    model = HoltWintersMultiplicative(alpha, beta, gamma,
                                     L=season_length, n_preds=len(test_data))

    # 3. Обучение модели на обучающей выборке
    try:
        model.fit(train_data.values)
    except:
        # В случае ошибки возвращаем бесконечную ошибку
        return float('inf')

    # 4. Генерация прогноза
    forecast = model.predict()
    forecast_series = pd.Series(forecast, index=test_data.index)

    # 5. Вычисление метрики ошибки
    mse = mean_squared_error(test_data, forecast_series)

    return mse

import optuna

# Создание и запуск Optuna исследования
study = optuna.create_study(direction='minimize')
study.optimize(objective, n_trials=100)

# Лучшие параметры
best_params = study.best_params
print('Лучшие параметры:', best_params)
```

/home/andreykaraulov/.pyenv/versions/3.9.19/lib/python3.9/site-packages/tqdm/auto.py:21: TqdmWarning: IPProgress not found. Please update jupyter and ipywidgets. See https://ipywidgets.readthedocs.io/en/stable/user_install.html

```
from .autonotebook import tqdm as notebook_tqdm
[I 2024-10-17 13:10:05,262] A new study created in memory with name:
no-name-5cf79d34-b96e-43f8-89c3-73c454e6f74d
```

[I 2024-10-17 13:10:05,304] Trial 0 finished with value: 815315895.182347 and parameters: {'alpha': 0.3765491876951297, 'beta': 0.51105806385189, 'gamma': 0.6680846627030794, 'season_length': 730}. Best is trial 0 with value: 815315895.182347.

[I 2024-10-17 13:10:05,339] Trial 1 finished with value: 399362646.2596164 and parameters: {'alpha': 0.7253005683881433, 'beta': 0.21565796751731275, 'gamma': 0.2562396056576685, 'season_length': 14}. Best is trial 1 with value: 399362646.2596164.

[I 2024-10-17 13:10:05,368] Trial 2 finished with value: 2308155318.607171 and parameters: {'alpha': 0.6016858434625953, 'beta': 0.643463803183512, 'gamma': 0.9575529334984109, 'season_length': 90}. Best is trial 1 with value: 399362646.2596164.

[I 2024-10-17 13:10:05,398] Trial 3 finished with value: 1634075682.7781465 and parameters: {'alpha': 0.11853806014318935, 'beta': 0.7214669148137453, 'gamma': 0.672015257977434, 'season_length': 14}. Best is trial 1 with value: 399362646.2596164.

[I 2024-10-17 13:10:05,427] Trial 4 finished with value: 154127219.39801675 and parameters: {'alpha': 0.14234268980408268, 'beta': 0.6009723742234508, 'gamma': 0.44642084506720536, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:05,460] Trial 5 finished with value: 394103568.0288019 and parameters: {'alpha': 0.94917518969243, 'beta': 0.49520298341693625, 'gamma': 0.3486175316097237, 'season_length': 7}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:05,486] Trial 6 finished with value: 413841188.8819222 and parameters: {'alpha': 0.5167074357891536, 'beta': 0.6305576702507962, 'gamma': 0.6184341191438129, 'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:05,509] Trial 7 finished with value: 1337971185.0123498 and parameters: {'alpha': 0.4631083712889905, 'beta': 0.5400328147747107, 'gamma': 0.9690969433906657, 'season_length': 365}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:05,533] Trial 8 finished with value: 403038642.5365117 and parameters: {'alpha': 0.6046450542040885, 'beta': 0.5101993931877271, 'gamma': 0.9708158373282538, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:05,559] Trial 9 finished with value: 388665681.0817753 and parameters: {'alpha': 0.9654686404664714, 'beta': 0.015486636447152553, 'gamma': 0.4374464775528748, 'season_length': 30}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:05,605] Trial 10 finished with value: 230557224.97307837 and parameters: {'alpha': 0.017968020095155093, 'beta': 0.9607727075006807, 'gamma': 0.06009040050378667, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:05,654] Trial 11 finished with value: 164753249.9213161 and parameters: {'alpha': 0.020141168150570626, 'beta': 0.9650277072715261, 'gamma': 0.019798039740533624, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:05,707] Trial 12 finished with value:

434912111.3701897 and parameters: {'alpha': 0.21530829720821792, 'beta': 0.9788061546380226, 'gamma': 0.014838548853122246, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:05,759] Trial 13 finished with value: 444457757.32921463 and parameters: {'alpha': 0.2539356488049482, 'beta': 0.8350949741096572, 'gamma': 0.14438967333108838, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:05,809] Trial 14 finished with value: 1609262086.9572682 and parameters: {'alpha': 0.011622243685141545, 'beta': 0.810681777400582, 'gamma': 0.2187639504794397, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:05,856] Trial 15 finished with value: 478221797.69828516 and parameters: {'alpha': 0.23896920147259287, 'beta': 0.3519145947702081, 'gamma': 0.5084684608336966, 'season_length': 730}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:05,901] Trial 16 finished with value: 725329275.4460298 and parameters: {'alpha': 0.15056559792321975, 'beta': 0.27086480016680997, 'gamma': 0.7822877708236159, 'season_length': 365}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:05,952] Trial 17 finished with value: 435386423.9417071 and parameters: {'alpha': 0.33320534020145187, 'beta': 0.8469566654932612, 'gamma': 0.35603936109177314, 'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,017] Trial 18 finished with value: 389595748.0076828 and parameters: {'alpha': 0.08910607466608617, 'beta': 0.3754362993470627, 'gamma': 0.8322120968262882, 'season_length': 7}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,108] Trial 19 finished with value: 385988590.25592506 and parameters: {'alpha': 0.3374196806856685, 'beta': 0.07055288778509139, 'gamma': 0.5182610770376563, 'season_length': 90}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,194] Trial 20 finished with value: 397288827.82429117 and parameters: {'alpha': 0.768067112566976, 'beta': 0.7574154847543988, 'gamma': 0.18991961814954014, 'season_length': 30}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,278] Trial 21 finished with value: 180536923.559507 and parameters: {'alpha': 0.019029925783109046, 'beta': 0.9321427256804868, 'gamma': 0.03780772790665876, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,354] Trial 22 finished with value: 349805855.3484868 and parameters: {'alpha': 0.11957496274714702, 'beta': 0.9014782720306411, 'gamma': 0.10271807158688195, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,416] Trial 23 finished with value: 341701036.76375735 and parameters: {'alpha': 0.025862145917232036, 'beta': 0.9096437891901735, 'gamma': 0.28851048407130275, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,480] Trial 24 finished with value: 407098997.84056437 and parameters: {'alpha': 0.18068032352753408,

'beta': 0.6794054820928676, 'gamma': 0.032546311979307116,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,542] Trial 25 finished with value:
367321285.61068505 and parameters: {'alpha': 0.07085521125506088,
'beta': 0.7542466210666399, 'gamma': 0.13499845747675693,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,609] Trial 26 finished with value:
487731044.8101585 and parameters: {'alpha': 0.27992315459151135,
'beta': 0.8967347346559141, 'gamma': 0.40966965844039394,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,672] Trial 27 finished with value:
390585673.152502 and parameters: {'alpha': 0.18567716567865744,
'beta': 0.6000351009418475, 'gamma': 0.10067144359548386,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,735] Trial 28 finished with value:
330862874.7132705 and parameters: {'alpha': 0.07425657416146572,
'beta': 0.9826744239081721, 'gamma': 0.1818233392374167,
'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,786] Trial 29 finished with value:
444769144.8447386 and parameters: {'alpha': 0.4268673590633208,
'beta': 0.8159986811334934, 'gamma': 0.30396430998760254,
'season_length': 730}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,846] Trial 30 finished with value:
416545173.0430462 and parameters: {'alpha': 0.2858310478108808,
'beta': 0.45969654692849504, 'gamma': 0.7214612047380863,
'season_length': 7}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,898] Trial 31 finished with value:
581481579.4257936 and parameters: {'alpha': 0.03476221386857289,
'beta': 0.9403548033044096, 'gamma': 0.06786611180928803,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:06,953] Trial 32 finished with value:
209739771.58490685 and parameters: {'alpha': 0.015354622328174675,
'beta': 0.8790102252521472, 'gamma': 0.02646944112844219,
'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,033] Trial 33 finished with value:
391269657.1116655 and parameters: {'alpha': 0.14468957313723205,
'beta': 0.8729570880781702, 'gamma': 0.2435276979940526,
'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,106] Trial 34 finished with value:
347537846.76529884 and parameters: {'alpha': 0.07709035178772451,
'beta': 0.7784381558547655, 'gamma': 0.1570898199274673,
'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,172] Trial 35 finished with value:
333499594.43004197 and parameters: {'alpha': 0.12017479320694467,
'beta': 0.7060746494245796, 'gamma': 0.5806713413430926,
'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,233] Trial 36 finished with value:
399989572.11347026 and parameters: {'alpha': 0.1930780571532538,
'beta': 0.5889924329587678, 'gamma': 0.02012121111931464,

'season_length': 90}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,293] Trial 37 finished with value:
389323401.079866 and parameters: {'alpha': 0.8752619133435957, 'beta':
0.9122122280108468, 'gamma': 0.10089026149374958, 'season_length':
14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,350] Trial 38 finished with value:
649439475.1987619 and parameters: {'alpha': 0.06426822531387161,
'beta': 0.668816565503668, 'gamma': 0.8753660461113223,
'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,404] Trial 39 finished with value:
397889603.11995393 and parameters: {'alpha': 0.5915913688861459,
'beta': 0.1588764758293551, 'gamma': 0.4227828453348677,
'season_length': 365}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,462] Trial 40 finished with value:
389767397.5744521 and parameters: {'alpha': 0.13593101589023257,
'beta': 0.8601620784529637, 'gamma': 0.07378308311941797,
'season_length': 30}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,515] Trial 41 finished with value:
350891065.0139319 and parameters: {'alpha': 0.012361784608114733,
'beta': 0.9580651912603143, 'gamma': 0.012277426617332905,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,568] Trial 42 finished with value:
394416191.4823064 and parameters: {'alpha': 0.049332983004514164,
'beta': 0.9422565371823777, 'gamma': 0.06360845994835268,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,623] Trial 43 finished with value:
308934680.90405583 and parameters: {'alpha': 0.10185358391296193,
'beta': 0.7958524738908959, 'gamma': 0.12874544222655243,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,681] Trial 44 finished with value:
476821740.7252648 and parameters: {'alpha': 0.16172107749385162,
'beta': 0.9687302047477226, 'gamma': 0.20286943528653903,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,742] Trial 45 finished with value:
433470296.50101215 and parameters: {'alpha': 0.040747845794127685,
'beta': 0.9870869347076617, 'gamma': 0.0605876654048742,
'season_length': 730}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,797] Trial 46 finished with value:
264782668.17919627 and parameters: {'alpha': 0.1023377423502875,
'beta': 0.7339624151077491, 'gamma': 0.27210561850872494,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,857] Trial 47 finished with value:
3092634483.817797 and parameters: {'alpha': 0.012821175757345881,
'beta': 0.44707139849687044, 'gamma': 0.621103145218636,
'season_length': 90}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:07,911] Trial 48 finished with value:
222228175.49103644 and parameters: {'alpha': 0.06407149580376928,
'beta': 0.8877961876825518, 'gamma': 0.3559914596088132,
'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:07,966] Trial 49 finished with value: 411879192.0051864 and parameters: {'alpha': 0.536966657553817, 'beta': 0.5516387221247132, 'gamma': 0.37039505529869665, 'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,024] Trial 50 finished with value: 407057716.39060485 and parameters: {'alpha': 0.6921480151392537, 'beta': 0.8304384382055622, 'gamma': 0.5525977299435152, 'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,080] Trial 51 finished with value: 446227663.59891653 and parameters: {'alpha': 0.23100624059021602, 'beta': 0.8831655760615413, 'gamma': 0.48386518076288487, 'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,138] Trial 52 finished with value: 515168692.68358666 and parameters: {'alpha': 0.06707184957902315, 'beta': 0.9252724880328453, 'gamma': 0.33346512647550447, 'season_length': 365}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,199] Trial 53 finished with value: 352980450.33462745 and parameters: {'alpha': 0.11130190027916427, 'beta': 0.8623342341242025, 'gamma': 0.04996211685171108, 'season_length': 7}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,256] Trial 54 finished with value: 533213189.23942477 and parameters: {'alpha': 0.043575210270290494, 'beta': 0.9447402215294843, 'gamma': 0.15201101881306064, 'season_length': 30}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,315] Trial 55 finished with value: 854760207428.7122 and parameters: {'alpha': 0.014398555191717607, 'beta': 0.7836921877153282, 'gamma': 0.2264769021368837, 'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,371] Trial 56 finished with value: 335425391.9706772 and parameters: {'alpha': 0.20125655214108187, 'beta': 0.8430636233080212, 'gamma': 0.4696231251249074, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,426] Trial 57 finished with value: 345944124.65373176 and parameters: {'alpha': 0.1556862247254387, 'beta': 0.3483011633612995, 'gamma': 0.3877652529586693, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,486] Trial 58 finished with value: 261151681.67384565 and parameters: {'alpha': 0.09464546923404123, 'beta': 0.8872842828517005, 'gamma': 0.10424552242681194, 'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,542] Trial 59 finished with value: 520020500.22456187 and parameters: {'alpha': 0.2739264237272951, 'beta': 0.9203058675367255, 'gamma': 0.4488367084831668, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,597] Trial 60 finished with value: 493540622.88067836 and parameters: {'alpha': 0.3283306698263851, 'beta': 0.7110536176689601, 'gamma': 0.31800788582709144, 'season_length': 730}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.

[I 2024-10-17 13:10:08,656] Trial 61 finished with value:

295176457.86785173 and parameters: {'alpha': 0.07995954340153136, 'beta': 0.8885746209973384, 'gamma': 0.10267623441902235, 'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:08,718] Trial 62 finished with value: 314340593.7940392 and parameters: {'alpha': 0.10006073988578792, 'beta': 0.9653101633292823, 'gamma': 0.04531007721221455, 'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:08,778] Trial 63 finished with value: 413147051.1666157 and parameters: {'alpha': 0.0471271411977568, 'beta': 0.8252175974959262, 'gamma': 0.12114151873035386, 'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:08,836] Trial 64 finished with value: 409783244.5821257 and parameters: {'alpha': 0.139713642528272, 'beta': 0.98705232250949, 'gamma': 0.17146174444766538, 'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:08,896] Trial 65 finished with value: 425082961.4423411 and parameters: {'alpha': 0.010090644515490056, 'beta': 0.8928473729918611, 'gamma': 0.08243464241849774, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:08,958] Trial 66 finished with value: 433930217.7448787 and parameters: {'alpha': 0.16425765437197953, 'beta': 0.8616333464347169, 'gamma': 0.02654816666631185, 'season_length': 7}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,015] Trial 67 finished with value: 412791465.0779426 and parameters: {'alpha': 0.40899062302885014, 'beta': 0.9290120500928064, 'gamma': 0.12835939924472067, 'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,071] Trial 68 finished with value: 352802701.8769985 and parameters: {'alpha': 0.08886881946011559, 'beta': 0.7496453596408524, 'gamma': 0.015746065773126372, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,129] Trial 69 finished with value: 456567480.2586827 and parameters: {'alpha': 0.22169175954265052, 'beta': 0.8068773639111323, 'gamma': 0.25271197799167416, 'season_length': 90}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,187] Trial 70 finished with value: 460694716.50371945 and parameters: {'alpha': 0.04892550243893809, 'beta': 0.6248740038824809, 'gamma': 0.07747938384494743, 'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,241] Trial 71 finished with value: 266697934.3544254 and parameters: {'alpha': 0.10671386486688222, 'beta': 0.6901210174008339, 'gamma': 0.27994031954621046, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,298] Trial 72 finished with value: 7486313854.512077 and parameters: {'alpha': 0.06650402650873433, 'beta': 0.7459951988832739, 'gamma': 0.379078603831793, 'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,358] Trial 73 finished with value: 294628813.53789055 and parameters: {'alpha': 0.11370289518236898,

'beta': 0.5383616154158871, 'gamma': 0.2769162211215127,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,414] Trial 74 finished with value:
377107799.15592206 and parameters: {'alpha': 0.12607168130513818,
'beta': 0.9140057924529066, 'gamma': 0.20883188934609037,
'season_length': 365}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,472] Trial 75 finished with value:
5072869844.178566 and parameters: {'alpha': 0.039215922970806914,
'beta': 0.6423717169619215, 'gamma': 0.524105985762518,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,527] Trial 76 finished with value:
287470183.0606469 and parameters: {'alpha': 0.07479527568837455,
'beta': 0.9562679964007132, 'gamma': 0.340170294615789,
'season_length': 30}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,581] Trial 77 finished with value:
423177616.96329224 and parameters: {'alpha': 0.17497294196094784,
'beta': 0.7693772445529586, 'gamma': 0.042656942996977594,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,643] Trial 78 finished with value:
481171594.883977 and parameters: {'alpha': 0.03447020038149799,
'beta': 0.8749346382814146, 'gamma': 0.179408815198347,
'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,702] Trial 79 finished with value:
320108150.3040863 and parameters: {'alpha': 0.0864454961346153,
'beta': 0.7261126286393277, 'gamma': 0.1054234541241319,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,755] Trial 80 finished with value:
404381973.0226796 and parameters: {'alpha': 0.2536132625298888,
'beta': 0.8389037418387433, 'gamma': 0.42447608087578387,
'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,808] Trial 81 finished with value:
504567337.09048766 and parameters: {'alpha': 0.10327305266327916,
'beta': 0.6795601637354566, 'gamma': 0.4069751218313666,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,866] Trial 82 finished with value:
291515849.7177421 and parameters: {'alpha': 0.13228667076944897,
'beta': 0.6790098379065226, 'gamma': 0.2982081467862604,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,927] Trial 83 finished with value:
547318684.5978812 and parameters: {'alpha': 0.0572391830199749,
'beta': 0.5583929804741659, 'gamma': 0.23787996255383315,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:09,981] Trial 84 finished with value:
393421888.53279096 and parameters: {'alpha': 0.923495540360717,
'beta': 0.6109344623885997, 'gamma': 0.08105154782231437,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:10,035] Trial 85 finished with value:
259531283.76139572 and parameters: {'alpha': 0.09489231685768007,
'beta': 0.8017125934817982, 'gamma': 0.26430648734297385,

'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:10,090] Trial 86 finished with value:
489289918.2215103 and parameters: {'alpha': 0.029187912061298688,
'beta': 0.8126003034901407, 'gamma': 0.1472312210763448,
'season_length': 730}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:10,148] Trial 87 finished with value:
441837043.5241538 and parameters: {'alpha': 0.15330888803785908,
'beta': 0.9480184474765987, 'gamma': 0.04490182811239944,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:10,204] Trial 88 finished with value:
378014834.1098723 and parameters: {'alpha': 0.06612501068954765,
'beta': 0.8585598326393612, 'gamma': 0.35455050410966565,
'season_length': 90}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:10,265] Trial 89 finished with value:
416493324.94439256 and parameters: {'alpha': 0.010966501554304675,
'beta': 0.7946453601334853, 'gamma': 0.014490492483323,
'season_length': 14}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:10,323] Trial 90 finished with value:
5568503770.201547 and parameters: {'alpha': 0.1925415173552479,
'beta': 0.482534530662282, 'gamma': 0.9269468539261903,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:10,389] Trial 91 finished with value:
321392836.7987345 and parameters: {'alpha': 0.09911524649420977,
'beta': 0.8927349940153347, 'gamma': 0.31913631830927297,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:10,451] Trial 92 finished with value:
290405607.02260256 and parameters: {'alpha': 0.12216880548016876,
'beta': 0.5791241691115149, 'gamma': 0.26347515622202694,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:10,593] Trial 93 finished with value:
277053662.6508871 and parameters: {'alpha': 0.08898975371269476,
'beta': 0.6539948042717308, 'gamma': 0.2790320840089584,
'season_length': 180}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:10,775] Trial 94 finished with value:
377098400.88182074 and parameters: {'alpha': 0.05307941410847755,
'beta': 0.7289290648820224, 'gamma': 0.46172618632359635,
'season_length': 7}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:10,947] Trial 95 finished with value:
195092437.32641092 and parameters: {'alpha': 0.032936693865077804,
'beta': 0.9080273931882722, 'gamma': 0.21618400963318535,
'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:11,090] Trial 96 finished with value:
625045662.7093779 and parameters: {'alpha': 0.029740993511417874,
'beta': 0.9062741070409489, 'gamma': 0.19857090469620875,
'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:11,157] Trial 97 finished with value:
393414674.0684748 and parameters: {'alpha': 0.8118064295876449,
'beta': 0.9321704209773942, 'gamma': 0.16354436570922604,
'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:11,220] Trial 98 finished with value:

```
452562427.6214088 and parameters: {'alpha': 0.025830973435462146,
'beta': 0.9692726306126872, 'gamma': 0.11330825695859986,
'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
[I 2024-10-17 13:10:11,313] Trial 99 finished with value:
395904788.9164672 and parameters: {'alpha': 0.05716053297047946,
'beta': 0.8750568512541578, 'gamma': 0.09064687885457365,
'season_length': 60}. Best is trial 4 with value: 154127219.39801675.
```

```
Лучшие параметры: {'alpha': 0.14234268980408268, 'beta':
0.6009723742234508, 'gamma': 0.44642084506720536, 'season_length':
180}
```

```
# Сохранение лучших параметров в JSON файл
```

```
with open('optuna_best_params.json', 'w') as f:
    json.dump(best_params, f, indent=4)
```

```
print("Лучшие параметры Optuna сохранены в 'optuna_best_params.json'")
```

```
Лучшие параметры Optuna сохранены в 'optuna_best_params.json'
```

```
# Инициализация и обучение модели с оптимизированными параметрами
```

```
hw_optuna = HoltWintersMultiplicative(
    alpha=best_params['alpha'],
    beta=best_params['beta'],
    gamma=best_params['gamma'],
    L=best_params['season_length'],
    n_preds=len(test_data)
)
```

```
hw_optuna.fit(train_data.values)
```

```
# Генерация прогноза
```

```
forecast_optuna = hw_optuna.predict()
forecast_series_optuna = pd.Series(forecast_optuna,
index=test_data.index)
plt.figure(figsize=(14,7))
plt.plot(train_data.index, train_data, label='Обучающая выборка',
color='blue')
plt.plot(test_data.index, test_data, label='Реальные данные (2024)',
color='orange')
plt.plot(forecast_series_optuna.index, forecast_series_optuna,
label='Прогноз Хольта-Уинтерса (Optuna)', color='green',
linestyle='--')
plt.title('Прогноз модели Хольта-Уинтерса с оптимизированными
параметрами на 2024 год')
plt.xlabel('Дата')
plt.ylabel('Цена (USD)')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

