

Торговая система на основе комбинации **PSAR**, фракталов и **ATR**: оптимизация и тестирование на криптовалютном рынке

Лямин А.Д. | Анализ финансовых рынков (Технический анализ) | Факультет экономических наук, НИУ ВШЭ

Исходный код стратегии: [Репозиторий GitHub](#)

В работе представлена разработка и эмпирическая оценка торговой системы, использующей комбинацию трех технических индикаторов: параболического **SAR (PSAR)**, фракталов Билла Вильямса и среднего истинного диапазона (**ATR**). Система реализована на языке `Python` с использованием библиотек для финансового анализа. Оптимизация параметров проводилась на периоде с января **2022** по декабрь **2024** года с применением фреймворка `Optuna`. Тестирование осуществлялось на независимом периоде с января **2025** года.

Для анализа использовались дневные данные по **Bitcoin (BTC-USD)** за период с 1 января **2022** года по 10 июля **2025** года. Данные получены через `API Yahoo Finance`. Общий объем выборки составляет **1287** торговых дней. Выбор криптовалюты в качестве базового актива обусловлен:

- Высокой ликвидностью рынка
- Непрерывностью торгов (**24/7**)
- Отсутствием дивидендных выплат, упрощающим анализ

In [1]:

```
import sys

sys.path.append("../")
```

In [2]:

```
from matplotlib import pyplot as plt

from src import (
    Config,
    DataLoader,
    TradingStrategy,
    ParameterOptimizer,
    PerformanceMetrics,
    StrategyVisualizer,
)
```

In [3]:

```
# Загрузка данных
loader = DataLoader(Config.TICKER)
data = loader.get_data()
```

Загрузка данных для BTC-USD...

```
[*****100%*****] 1 of 1 completed
```

Данные загружены: 1462 дней (2021-12-02 - 2025-12-02)

Разделение данных:

Train: 1096 дней (2022-01-01 - 2024-12-31)

Test: 336 дней (2025-01-01 - 2025-12-02)

Индикаторы

Parabolic SAR (PSAR)

Индикатор генерирует точки **(Stop and Reverse)**, расположенные ниже цены при восходящем тренде и выше цены при нисходящем. Формально, значение **PSAR** на момент t вычисляется как:

$$SAR_t = SAR_{t-1} + AF \times (EP - SAR_{t-1})$$

где AF — фактор ускорения (начальное значение **0.02**, увеличивается на **0.02** при каждом новом экстремуме до максимума **0.20**), EP — экстремальная цена (максимум для бычьего тренда, минимум для медвежьего).

В отличие от фиксированных уровней поддержки, **PSAR** динамически подтягивается к цене по мере ускорения тренда, выполняя функцию прогрессивного стоп-лосса. Это позволяет фиксировать прибыль во время сильных движений, защищаясь от внезапных разворотов. Индикатор особенно эффективен на трендовых рынках, где дает четкие сигналы входа и выхода.

Фракталы Билла Вильямса

Фракталы идентифицируют локальные максимумы и минимумы на основе паттерна из пяти свечей. Для фрактала максимума:

$$\begin{aligned} High_t &> High_{t-2} \\ High_t &> High_{t-1} \\ High_t &> High_{t+1} \\ High_t &> High_{t+2} \end{aligned}$$

Аналогично для фрактала минимума:

$$\begin{aligned} Low_t &< Low_{t-2} \\ Low_t &< Low_{t-1} \\ Low_t &< Low_{t+1} \\ Low_t &< Low_{t+2} \end{aligned}$$

Фракталы позволяют объективно идентифицировать ключевые уровни поддержки и сопротивления без субъективной интерпретации графиков. Пятисвечной паттерн фильтрует рыночный шум, выделяя только значимые экстремумы. В контексте данной стратегии фракталы служат подтверждающим фильтром: пробитие фрактального минимума подтверждает силу восходящего движения, а появление нового фрактального максимума сигнализирует о возможном развороте. Это обеспечивает дополнительный уровень подтверждения сигналов от основного трендового индикатора.

Average True Range (ATR)

ATR измеряет волатильность рынка, учитывая гэпы между свечами. Истинный диапазон (**True Range**) определяется как:

$$TR_t = \max(|High_t - Low_t|, |High_t - Close_{t-1}|, |Low_t - Close_{t-1}|)$$

ATR представляет собой скользящее среднее **TR** за период N :

$$ATR_t = \frac{1}{N} \sum_{i=t-N+1}^t TR_i$$

В данной работе используется $N = 14$ в качестве базового значения.

Основная ценность **ATR** в стратегии — фильтрация сигналов по уровню рыночной активности.

Стратегия

Вход в позицию (Long):

$$(Close_t > PSAR_t) \text{ и } (ATR_t > SMA(ATR, M)_t) \text{ и } (Close_t > FractalLow_{t-1})$$

Выход из позиции:
($Close_t < PSAR_t$) или ($FractalHigh_t$
= истина)

Оптимизация

Для оптимизации параметров использовался фреймворк `Optuna`.

Целевая функция — максимизация коэффициента Шарпа, рассчитываемого как:

$$Sharpe = \frac{\bar{R} \times \sqrt{252}}{\sigma_R}$$

где \bar{R} — средняя дневная доходность, σ_R — стандартное отклонение дневной доходности.

Период оптимизации: 1 января 2022 — 31 декабря 2024 (756 торговых дней). Проведено 50 итераций оптимизации.

In [4]:

```
optimizer = ParameterOptimizer(data["train"])
best_params = optimizer.optimize(n_trials=30, show_progress=True)
```

```
[I 2025-12-03 02:33:53,449] A new study created in memory with name: no-name-903eeac4-4951-41e1-966a-5b40fe89d0f8
```

Оптимизация параметров стратегии...

```
[I 2025-12-03 02:33:53,507] Trial 0 finished with value: 1.4730784796020764 and parameter
s: {'psar_af': 0.01749080237694725, 'psar_max': 0.2901428612819832, 'atr_period': 18, 'at
r_sma_period': 24}. Best is trial 0 with value: 1.4730784796020764.
[I 2025-12-03 02:33:53,522] Trial 1 finished with value: 0.8983135142352795 and parameter
s: {'psar_af': 0.01312037280884873, 'psar_max': 0.13119890406724052, 'atr_period': 10, 'a
tr_sma_period': 28}. Best is trial 0 with value: 1.4730784796020764.
[I 2025-12-03 02:33:53,535] Trial 2 finished with value: 0.9719427441714489 and parameter
s: {'psar_af': 0.022022300234864175, 'psar_max': 0.2416145155592091, 'atr_period': 10, 'a
tr_sma_period': 30}. Best is trial 0 with value: 1.4730784796020764.
[I 2025-12-03 02:33:53,548] Trial 3 finished with value: 1.2821625842417494 and parameter
s: {'psar_af': 0.026648852816008435, 'psar_max': 0.14246782213565523, 'atr_period': 12, '
atr_sma_period': 17}. Best is trial 0 with value: 1.4730784796020764.
[I 2025-12-03 02:33:53,560] Trial 4 finished with value: 1.5398591225852247 and parameter
s: {'psar_af': 0.016084844859190754, 'psar_max': 0.20495128632644755, 'atr_period': 14, '
atr_sma_period': 19}. Best is trial 4 with value: 1.5398591225852247.
[I 2025-12-03 02:33:53,573] Trial 5 finished with value: 1.0078129538163556 and parameter
s: {'psar_af': 0.02223705789444759, 'psar_max': 0.12789877213040837, 'atr_period': 13, 'a
tr_sma_period': 20}. Best is trial 4 with value: 1.5398591225852247.
[I 2025-12-03 02:33:53,586] Trial 6 finished with value: 1.1164113704331613 and parameter
s: {'psar_af': 0.019121399684340717, 'psar_max': 0.2570351922786027, 'atr_period': 12, 'a
tr_sma_period': 23}. Best is trial 4 with value: 1.5398591225852247.
[I 2025-12-03 02:33:53,598] Trial 7 finished with value: 1.6561115603375256 and parameter
s: {'psar_af': 0.02184829137724085, 'psar_max': 0.10929008254399955, 'atr_period': 16, 'a
tr_sma_period': 17}. Best is trial 7 with value: 1.6561115603375256.
[I 2025-12-03 02:33:53,611] Trial 8 finished with value: 1.2197829333292258 and parameter
s: {'psar_af': 0.011301031859705591, 'psar_max': 0.28977710745066665, 'atr_period': 20, '
atr_sma_period': 27}. Best is trial 7 with value: 1.6561115603375256.
[I 2025-12-03 02:33:53,623] Trial 9 finished with value: 1.4393744983473442 and parameter
s: {'psar_af': 0.016092275383467414, 'psar_max': 0.11953442280127678, 'atr_period': 17, '
atr_sma_period': 22}. Best is trial 7 with value: 1.6561115603375256.
[I 2025-12-03 02:33:53,638] Trial 10 finished with value: 1.437283439524508 and parameter
s: {'psar_af': 0.029051137307293737, 'psar_max': 0.17274553472432622, 'atr_period': 16, '
atr_sma_period': 15}. Best is trial 7 with value: 1.6561115603375256.
[I 2025-12-03 02:33:53,678] Trial 11 finished with value: 1.3929095990419227 and paramete
rs: {'psar_af': 0.0243033922439359, 'psar_max': 0.2001596971935462, 'atr_period': 14, 'at
r_sma_period': 18}. Best is trial 7 with value: 1.6561115603375256.
[I 2025-12-03 02:33:53,694] Trial 12 finished with value: 1.5940623849854931 and paramete
rs: {'psar_af': 0.015107884495141452, 'psar_max': 0.20052722662815284, 'atr_period': 15,
'atr_sma_period': 19}. Best is trial 7 with value: 1.6561115603375256.
[I 2025-12-03 02:33:53,707] Trial 13 finished with value: 1.5569820530016774 and paramete
```

```
rs: {'psar_af': 0.013848098587451335, 'psar_max': 0.1665847899456198, 'atr_period': 16, 'atr_sma_period': 15}. Best is trial 7 with value: 1.6561115603375256.
[I 2025-12-03 02:33:53,722] Trial 14 finished with value: 1.469788646871898 and parameter s: {'psar_af': 0.020563949636668938, 'psar_max': 0.23238909212579287, 'atr_period': 19, 'atr_sma_period': 21}. Best is trial 7 with value: 1.6561115603375256.
[I 2025-12-03 02:33:53,737] Trial 15 finished with value: 1.7050397555828003 and parameter s: {'psar_af': 0.024371519286782908, 'psar_max': 0.10527361688116152, 'atr_period': 15, 'atr_sma_period': 17}. Best is trial 15 with value: 1.7050397555828003.
[I 2025-12-03 02:33:53,754] Trial 16 finished with value: 1.7349149415146543 and parameter s: {'psar_af': 0.025438480247601425, 'psar_max': 0.1067171769868944, 'atr_period': 17, 'atr_sma_period': 17}. Best is trial 16 with value: 1.7349149415146543.
[I 2025-12-03 02:33:53,770] Trial 17 finished with value: 1.7700535261967927 and parameter s: {'psar_af': 0.02693992246777331, 'psar_max': 0.10033729436719534, 'atr_period': 18, 'atr_sma_period': 16}. Best is trial 17 with value: 1.7700535261967927.
[I 2025-12-03 02:33:53,784] Trial 18 finished with value: 1.2693873114948606 and parameter s: {'psar_af': 0.02859472188043032, 'psar_max': 0.15539301621077056, 'atr_period': 18, 'atr_sma_period': 15}. Best is trial 17 with value: 1.7700535261967927.
[I 2025-12-03 02:33:53,800] Trial 19 finished with value: 1.7325808826302938 and parameter s: {'psar_af': 0.025100335525460128, 'psar_max': 0.10131957555081067, 'atr_period': 20, 'atr_sma_period': 24}. Best is trial 17 with value: 1.7700535261967927.
[I 2025-12-03 02:33:53,813] Trial 20 finished with value: 1.5108654079276358 and parameter s: {'psar_af': 0.026655518191764205, 'psar_max': 0.15054889150308848, 'atr_period': 18, 'atr_sma_period': 16}. Best is trial 17 with value: 1.7700535261967927.
[I 2025-12-03 02:33:53,827] Trial 21 finished with value: 1.7168954790648712 and parameter s: {'psar_af': 0.02482306382359896, 'psar_max': 0.10216254972869447, 'atr_period': 20, 'atr_sma_period': 25}. Best is trial 17 with value: 1.7700535261967927.
[I 2025-12-03 02:33:53,840] Trial 22 finished with value: 1.7017849772090812 and parameter s: {'psar_af': 0.027282055550689445, 'psar_max': 0.12415074277702401, 'atr_period': 19, 'atr_sma_period': 25}. Best is trial 17 with value: 1.7700535261967927.
[I 2025-12-03 02:33:53,854] Trial 23 finished with value: 1.408377226666052 and parameter s: {'psar_af': 0.029963647331487448, 'psar_max': 0.17249286849013445, 'atr_period': 19, 'atr_sma_period': 22}. Best is trial 17 with value: 1.7700535261967927.
[I 2025-12-03 02:33:53,868] Trial 24 finished with value: 1.5921554234854278 and parameter s: {'psar_af': 0.025449053134553937, 'psar_max': 0.10040362375944141, 'atr_period': 17, 'atr_sma_period': 20}. Best is trial 17 with value: 1.7700535261967927.
[I 2025-12-03 02:33:53,896] Trial 25 finished with value: 1.6012242576406779 and parameter s: {'psar_af': 0.023193489209691217, 'psar_max': 0.1406349856056437, 'atr_period': 20, 'atr_sma_period': 25}. Best is trial 17 with value: 1.7700535261967927.
[I 2025-12-03 02:33:53,914] Trial 26 finished with value: 1.9197836417619851 and parameter s: {'psar_af': 0.02769265611610274, 'psar_max': 0.11579976652930724, 'atr_period': 17, 'atr_sma_period': 18}. Best is trial 26 with value: 1.9197836417619851.
[I 2025-12-03 02:33:53,928] Trial 27 finished with value: 1.7390661563107876 and parameter s: {'psar_af': 0.02791467587819955, 'psar_max': 0.12215632467968494, 'atr_period': 17, 'atr_sma_period': 18}. Best is trial 26 with value: 1.9197836417619851.
[I 2025-12-03 02:33:53,942] Trial 28 finished with value: 1.7858082847156764 and parameter s: {'psar_af': 0.02748463558110309, 'psar_max': 0.11783569750311612, 'atr_period': 17, 'atr_sma_period': 19}. Best is trial 26 with value: 1.9197836417619851.
[I 2025-12-03 02:33:53,957] Trial 29 finished with value: 1.5683744604074579 and parameter s: {'psar_af': 0.018876173195134557, 'psar_max': 0.18498167660430948, 'atr_period': 18, 'atr_sma_period': 19}. Best is trial 26 with value: 1.9197836417619851.
Лучшие параметры: {'psar_af': 0.02769265611610274, 'psar_max': 0.11579976652930724, 'atr_period': 17, 'atr_sma_period': 18}
Лучший Sharpe Ratio: 1.9198
```

Наилучшая комбинация параметров достигла коэффициента Шарпа **1.9198** на периоде оптимизации.

In [5]:

```
# Стратегия с оптимальными параметрами
strategy = TradingStrategy(best_params)
results, trades = strategy.run(data)
```

Результаты оптимизации и тестирования представлены на рисунках ниже:

In [6]:

```
# Визуализация
visualizer = StrategyVisualizer()

# График 1 для полных данных
```

```
fig1 = visualizer.plot_indicators_and_signals(results["full"], "(все данные)")
plt.show()
```

```
# График 1 для тестовых данных
fig2 = visualizer.plot_indicators_and_signals(results["test"], "(тестовые данные)")
plt.show()
```

```
fig = visualizer.plot_strategy_comparison(
    results["train"], results["test"], results["full"], Config.TEST_START
)
plt.show()
```





Метрики стратегии на различных периодах

In [7]:

```
# Расчет метрик
metrics_calculator = PerformanceMetrics()

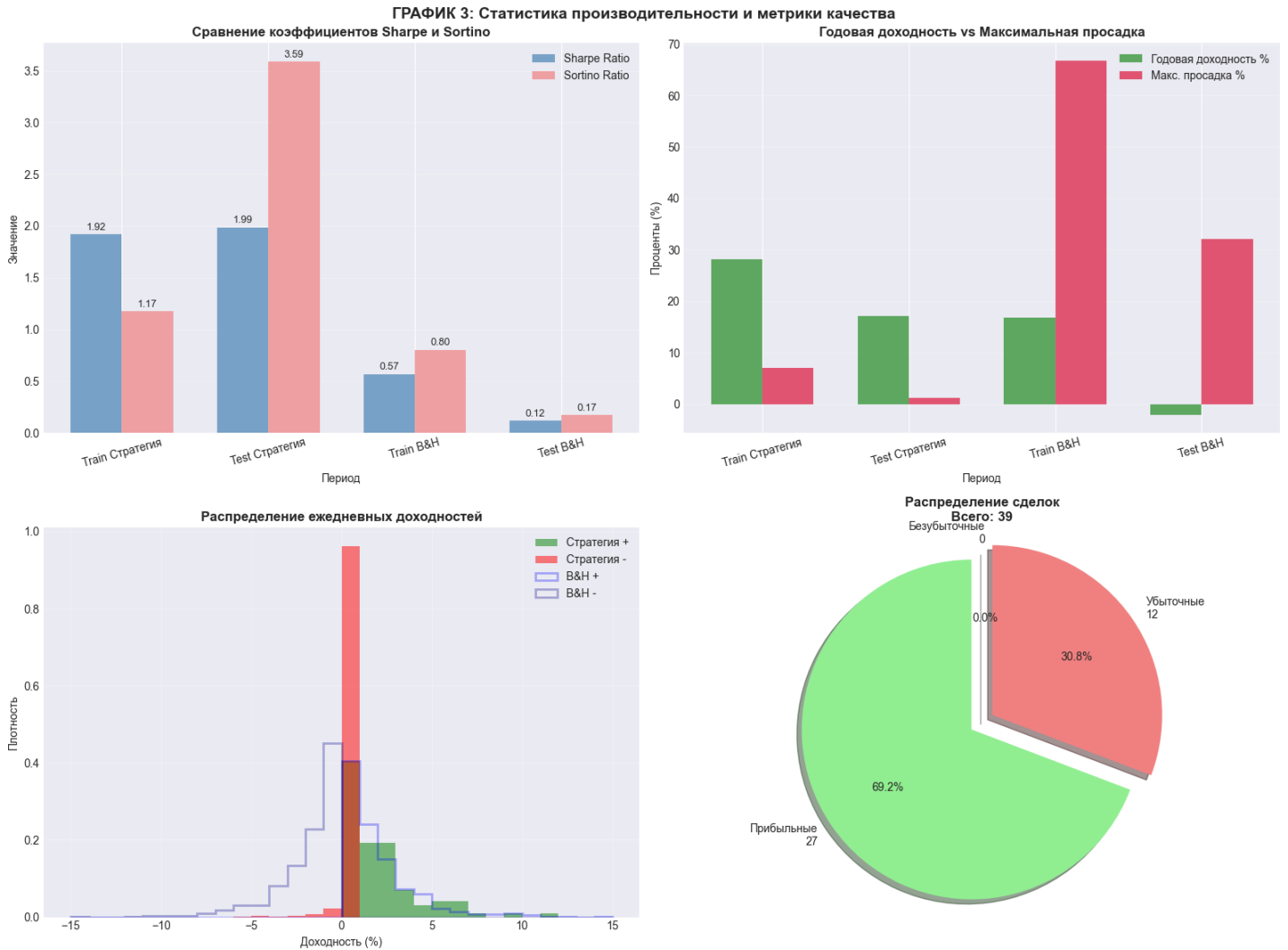
train_metrics = metrics_calculator.calculate_all_metrics(results["train"]["Strategy_Return"])
test_metrics = metrics_calculator.calculate_all_metrics(results["test"]["Strategy_Return"])
train_bh_metrics = metrics_calculator.calculate_all_metrics(results["train"]["BuyHold_Return"])
test_bh_metrics = metrics_calculator.calculate_all_metrics(results["test"]["BuyHold_Return"])

# Анализ сделок
trade_analysis = metrics_calculator.analyze_trades(trades["full"])

# Визуализация
visualizer = StrategyVisualizer()
fig = visualizer.plot_performance_metrics(
    results["full"],
    trades["full"],
    train_metrics,
    test_metrics,
    train_bh_metrics,
    test_bh_metrics,
)
plt.show()

# Детальная статистика сделок
```

```
if trade_analysis:
    print("\nСТАТИСТИКА СДЕЛОК:")
    print(f"    Всего сделок: {trade_analysis['total_trades']}")
    print(
        f"        Прибыльных: {trade_analysis['profitable_trades']} "
        f"({trade_analysis['win_rate']:.1f}%) "
    )
    print(f"    Убыточных: {trade_analysis['losing_trades']}")
    print(f"    Средняя прибыль: {trade_analysis['avg_profit']:.2f}%")
    print(f"    Максимальная прибыль: {trade_analysis['max_profit']:.2f}%")
    print(f"    Максимальный убыток: {trade_analysis['max_loss']:.2f}%")
```



СТАТИСТИКА СДЕЛОК:
Всего сделок: 39
Прибыльных: 27 (69.2%)
Убыточных: 12
Средняя прибыль: 3.67%
Максимальная прибыль: 21.20%
Максимальный убыток: -6.95%

Выводы

В работе представлена и протестирована торговая система, основанная на комбинации **PSAR**, фракталов и **ATR**. Полученные результаты демонстрируют, что предложенная комбинация индикаторов может быть эффективна для торговли на высоковолатильных рынках, таких как криптовалютный. Однако для практического применения необходима дополнительная проверка устойчивости системы на более длительных периодах и с учетом транзакционных издержек.

Хотя тестирование на независимом периоде снижает риск переобучения, параметры были оптимизированы на конкретном историческом периоде. Система не использует **short**-позиции, что ограничивает ее применение на медвежьих рынках.

Перспективные направления для дальнейших исследований включают:

- Расширение системы для работы с **short**-позициями
- Тестирование на других классах активов (акции, валюты, товары)
- Включение машинного обучения для динамической адаптации параметров
- Учет транзакционных издержек и **slippage**

Основной код системы доступен на **GitHub**: <https://github.com/lyaminartemiy/hse-crypto-strategy-psar-fractals>.