

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004. 056

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-4-51-58



Оригинальная статья/Original article

**Метод оптимизации инвестиционного пакета на основе
портфельной теории Марковица**

А.Д. Байдалин

Сибирский государственный индустриальный университет,
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является реализация и оценка метода оптимизации на основе портфельной теории Марковица. **Метод.** Модель построена средствами языка программирования Python и необходимыми библиотеками. Также для решения поставленной задачи использовались принципы финансовой теории – расчет риска покупаемого актива, диверсификация портфеля и принцип оптимальности. Эти принципы составляют основу финансовой теории и помогают принимать обоснованные решения, связанные с инвестициями, финансированием и управлением рисками. **Результат.** Составлена модель программы, которая на вход принимает исторические данные по изменению стоимости акций разных компаний. После этого происходит расчет оптимального портфеля и выводится в терминал пользователя-инвестора. Портфельная теория Марковица помогает определить оптимальный портфель, который обеспечивает максимальную доходность при заданном уровне риска или минимальный риск при заданной доходности. Оптимальный портфель находится на касательной к кривой безрисковых активов и является наилучшим выбором для инвестора с учетом его предпочтений. **Вывод.** Разработанная Гарри Марковицем методика формирования инвестиционного портфеля, направленная на оптимальный выбор активов, исходит из требуемого соотношения доходность/риск. Сформулированные им идеи составляют основу современной портфельной теории. Портфельная теория Марковица определяет эффективное множество, которое представляет собой все возможные портфели с различными сочетаниями активов, обеспечивающими одинаковый уровень риска. Инвесторы могут выбирать портфели из этого множества в зависимости от своих личных целей и ограничений. Разнообразие активов в портфеле помогает снизить общий уровень риска и улучшить соотношение доходности и риска.

Ключевые слова: инвестиции, оптимизация, портфельная теория, математическая модель, машинное обучение и искусственный интеллект, диверсификация, акции, облигации, фондовый рынок, доходность инвестиций, рыночный анализ, алгоритмы, анализ данных

Для цитирования: А.Д. Байдалин. Метод оптимизации инвестиционного пакета на основе портфельной теории Марковица. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(4):51-58. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-4-51-58

Optimization method of investment package based on Markowitz portfolio theory

A.D. Baydalın

Siberian State Industrial University,
42 Kirova St., Novokuznetsk 654007, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to implement and evaluate the optimization method based on the Markowitz portfolio theory. **Method.** The model is built using the Python programming language and the necessary libraries. Also, to solve the problem, the principles of financial theory were used - the calculation of the risk of the purchased asset, portfolio

diversification and the principle of optimality. These principles form the basis of financial theory and help you make informed decisions related to investment, financing, and risk management. **Result.** A model of the program has been compiled, which accepts historical data on changes in the value of shares of different companies as input. After that, the optimal portfolio is calculated and displayed in the terminal of the user-investor. Markowitz portfolio theory helps to determine the optimal portfolio that provides the maximum return for a given level of risk or the minimum risk for a given return. The optimal portfolio is tangent to the risk-free asset curve and is the best choice for the investor, given his preferences. **Conclusion.** The method of forming an investment portfolio developed by Harry Markowitz, aimed at the optimal choice of assets, proceeds from the required ratio of profitability/risk. The ideas formulated by him form the basis of modern portfolio theory. Portfolio theory Markowitz defines an efficient set, which is all possible portfolios with different combinations of assets that provide the same level of risk. Investors can choose portfolios from this set depending on their personal goals and limitations. The variety of assets in a portfolio helps reduce the overall level of risk and improve the risk-reward ratio.

Keywords: investment, optimization, portfolio theory, mathematical model, machine learning and artificial intelligence, diversification, stocks, bonds, stock market, investment return, market analysis, algorithms, data analysis

For citation: A.D. Baydalin. Investment package optimization method based on the Markowitz portfolio theory. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2023; 50(4):51-58. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-4-51-58

Введение. Алгоритмическая торговля, также известная как автоматизированная торговля или торговля с использованием роботов (трейдинг-роботов), представляет собой стратегию торговли на финансовых рынках, при которой решения о совершении сделок принимаются автоматически на основе заданных компьютерных алгоритмов. Алгоритмическая торговля стала широко распространенной с развитием технологий и компьютерных систем. Она позволяет торговым фирмам и инвесторам реагировать на изменения рынка намного быстрее, чем при традиционной «ручной» торговле, и может быть особенно полезной при обработке больших объемов данных и выполнении сложных стратегий. Однако, как и любая торговая деятельность, алгоритмическая торговля сопряжена с рисками, и неправильно настроенные алгоритмы могут привести к финансовым потерям [1-3].

Такие алгоритмы могут быть разработаны для выполнения различных стратегий, которые охватывают широкий спектр параметров и условий рынка. Некоторые из наиболее распространенных стратегий в алгоритмической торговле включают:

1. Арбитраж: Эксплуатация временных или ценовых различий между различными рынками, инструментами или биржами.
2. Маркет-мейкерство: Постоянное размещение ордеров на покупку и продажу для обеспечения ликвидности на рынке.
3. Трендовая торговля: Основана на выявлении и эксплуатации длительных тенденций и движений цен на рынке.
4. Статистические стратегии: Используют статистические модели и анализ данных для принятия торговых решений.
5. Анализ биржевых стаканов: Используется информация о текущих ордерах на покупку и продажу для выявления потенциальных движений цен.
6. Арбитраж на основе рисков: Эксплуатация различий в волатильности и корреляции между различными активами.
7. Торговля на новостях: Реакция на важные новости и события, влияющие на рынки [4-5].

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка и интеграция в терминал инвестора метода оптимизации портфеля на основе теории, которую предложил Гарри Марковиц. Финансовая отрасль считается одной из наиболее динамичных и подверженных

инновациям отраслей в мире. Она всегда стремится использовать новые технологии и подходы для повышения эффективности, снижения затрат и улучшения клиентского опыта. Некоторые из технологий, которые имеют потенциал повлиять на финансовую отрасль [6-8]. Еще одним фактором стала всевозрастающая роль искусственного интеллекта в финансовых расчетах. Все больше финансовых учреждений применяет методы машинного и глубокого обучения в операционной деятельности и в системах принятия инвестиционных решений.

Рынок ценных бумаг — это место, где покупатели и продавцы встречаются для торговли финансовыми инструментами, такими как акции, облигации, валюты, фьючерсы и другие ценные бумаги. Это физическое или виртуальное пространство, где происходят операции купли-продажи этих активов. Важной характеристикой рынка ценных бумаг является его роль в обеспечении доступа к капиталу компаниям, государствам и другим эмитентам, которые нуждаются в финансировании своей деятельности. Через выпуск акций и облигаций они привлекают инвесторов и капитал для развития и расширения своих бизнесов или для покрытия долговых обязательств. [9-10]

Основные типы рынков ценных бумаг:

1. Рынок акций: Торговля акциями компаний, представляющими долю в собственности компании. Эти акции обычно обозначают долю в капитале компании и дают право на получение дивидендов и голосование на общем собрании акционеров.
2. Рынок облигаций: Облигации представляют собой долговые ценные бумаги, которые эмитент обещает вернуть с определенным процентом (купоном) инвесторам после определенного срока.
3. Рынок валют (Форекс): Торговля валютами различных стран. Участники рынка могут покупать и продавать различные валюты с целью прибыли от изменения их курсов. [11-13]
4. Рынок фьючерсов и опционов: Торговля фьючерсами и опционами, которые представляют собой договоры на покупку или продажу определенных активов по заранее определенным условиям в будущем.
5. Рынок сырьевых товаров: Торговля сырьевыми товарами, такими как нефть, золото, серебро, зерно и др.

На рынке ценных бумаг цены формируются на основе спроса и предложения, а торговые операции могут быть выполнены как на бирже, так и во внебиржевом (ОТС) режиме. Рынок ценных бумаг является важной частью финансовой системы и оказывает значительное влияние на экономику в целом.

Финансовый посредник — профессиональная организация, которая выступает в качестве связующего звена между биржей и физическим лицом. Она позволяет потенциальным инвесторам попасть на рынок ценных бумаг. В качестве финансового посредника могут выступать следующие лица — это брокеры, дилеры, доверительные управляющие, инвестиционные советники, регистраторы и депозитарии. По данным декабря 2019 года на российском рынке ценных бумаг действует 482 организации, из них 46% — кредитные организации, 54% — не кредитные финансовые организации.

Брокер - это лицо или компания, которая действует как посредник между инвесторами и рынками ценных бумаг. Его основная задача состоит в том, чтобы обеспечить возможность покупки и продажи ценных бумаг на финансовых рынках от имени своих клиентов. Брокеры выполняют роль исполнителей заявок на покупку и продажу ценных бумаг. Они предоставляют доступ к различным рынкам и биржам, где торгуются акции, облигации, валюты, фьючерсы и другие инструменты. Брокеры помогают инвесторам находить оптимальные цены для сделок и выполнять заказы согласно указанным параметрам [14]. Брокеры могут быть представителями крупных финансовых институтов, таких как банки или инвестиционные компании, или быть независимыми агентами. Они могут предоставлять услуги как частным инвесторам, так и институциональным клиентам.

Каждый брокер обязан работать в соответствии с законодательством и правилами регулирующих организаций финансовых рынков. На рис. 1 представлена структура рынка из описания Банка России:

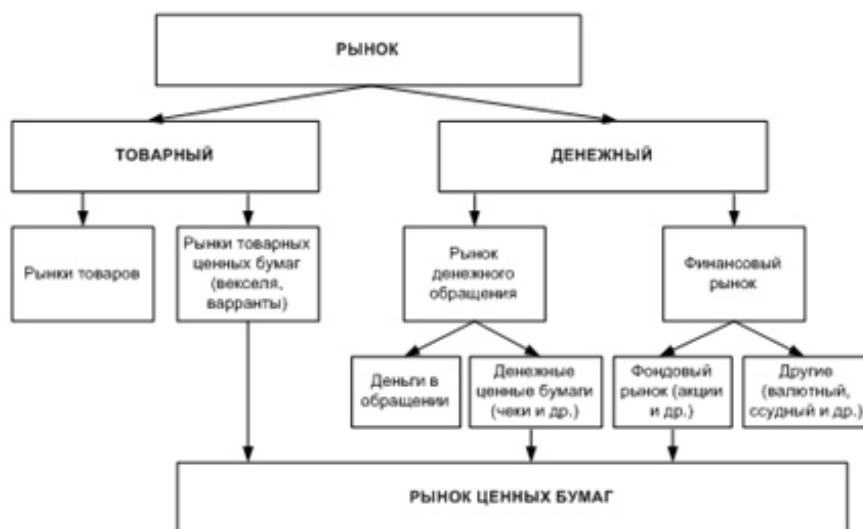


Рис. 1. Схема устройства

Fig. 1. Device diagram

Биржа определяет принципы проведения торгов на фондовой бирже, а также устанавливает временные ограничения.

Методы исследования. Портфельная теория – это концептуальная модель, разработанная в экономической и финансовой науке, которая изучает оптимальное распределение активов в инвестиционном портфеле с целью достижения наилучшего баланса между ожидаемой доходностью и риском.

Теория была предложена Гарри Марковицем в 1952 году и является основополагающим принципом в области управления портфелем.

Основная идея заключается в том, что инвесторы могут минимизировать риск, связанный с инвестициями, и максимизировать ожидаемую доходность, эффективно комбинируя различные финансовые активы в своем портфеле. [15-16]

Ключевые концепции портфельной теории включают в себя:

1. Риск и доходность: Инвесторы оценивают ожидаемую доходность и риск каждого актива в портфеле. Высокодоходные активы обычно сопровождаются более высоким риском, а низкодоходные активы – меньшим риском.
2. Корреляция: Корреляция между различными активами в портфеле играет важную роль. Диверсификация путем включения некоррелирующих или слабо коррелирующих активов может снизить общий риск портфеля.
3. Эффективный фронт: Портфель, который представляет наилучший баланс между ожидаемой доходностью и риском, называется «эффективным фронтом». Это графическое представление оптимальных портфелей для различных уровней риска.
4. Оптимизация портфеля: Портфельная теория предлагает математический подход для определения оптимального распределения активов в портфеле на основе предпочтений инвестора, его уровня терпимости к риску и желаемой доходности.
5. CAPM: Капиталовознаграждение, или CAPM (Capital Asset Pricing Model), является дополнительной моделью, основанной на портфельной теории, которая используется для определения стоимости капитала и цены акций. [17]

Портфельная теория имеет широкое применение в инвестиционном управлении, финансовом анализе и активном управлении портфелями.

Она помогает инвесторам принимать информированные решения о том, как достичь желаемых инвестиционных целей, учитывая свой индивидуальный уровень риска и предпочтений.

Для построения пространства возможных портфелей Марковиц предложил использовать класс активов, вектор их средних ожидаемых доходностей и матрицу ковариаций. На рис. 2 представлена кривая риск/доходностей в модели Марковица.

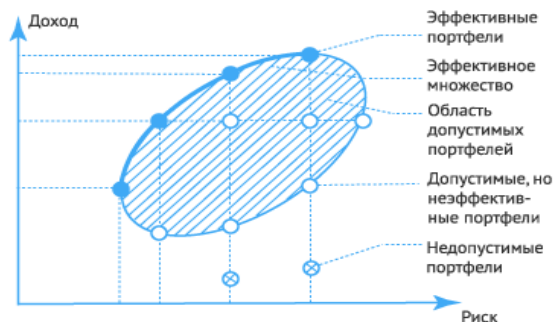


Рис. 2. Кривая риск/доходность в модели Марковица

Fig. 2. Risk/return curve in the Markowitz model

Обсуждение результатов. Задача оптимизации портфеля активов с вектором средней доходности r ковариационной матрицей V может быть сформулирована следующим образом:

$$\begin{cases} \sigma_p^2 = d^T V d \rightarrow \min \\ d^T r = r_p \\ d^T e = 1 \end{cases}$$

К этим условиям в задаче оптимизации портфеля активов следует добавить условие положительности портфеля (долей). Однако, в общем случае финансовых инструментов предполагается возможность открытия коротких позиций (отрицательных долей инструментов в портфеле). Тогда можно найти общее аналитическое решение задачи.

$$A = \begin{pmatrix} r^T \\ e^T \end{pmatrix} V^{-1} \begin{pmatrix} r \\ e \end{pmatrix}$$

Если обозначить A , тогда зависимость дисперсии оптимизированного (эффективного) портфеля от требуемой доходности будет иметь вид

$$\sigma_p^2 = (r_p, 1) A^{-1} \begin{pmatrix} r_p \\ 1 \end{pmatrix}$$

где σ_p^2 – минимально возможная дисперсия доходности портфеля и соответствующая ему средняя доходность;

r_1 – доходность портфеля, с соотношением риск-доходность таким же, как и портфель минимального риска (графически это единственная точка пересечения с параболой прямой, проходящей через начало координат и вершину параболы).

Для начала работы важно импортировать необходимые библиотеки. На рис.2 представлена часть кода с импортом библиотек.

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd
import pandas_datareader as web
from matplotlib.ticker import FuncFormatter

from pypfopt.efficient_frontier import EfficientFrontier
from pypfopt.discrete_allocation import get_latest_prices, DiscreteAllocation
from pypfopt import risk_models
from pypfopt import expected_returns
from pypfopt.cla import CLA
import pypfopt.plotting as pplt
from matplotlib.ticker import FuncFormatter
```

Рис. 3. Импорт библиотек Python

Fig. 3. Import Python libraries

Следующим этапом с помощью библиотеки yahoo finance происходит выгрузка по стоимости закрытия акций некоторых компаний. В данном случае для примера будем использовать информацию о следующих компаниях – Apple, Amazon, Bank of America, Ford, Google, Intel, Nvidia и Tesla. На рис. 4 представлен код по загрузке исторических данных.

```
import yfinance as yf
tickers = ['TSLA', 'GOOGL', 'F', 'AAPL', 'AMZN', 'NVDA', 'BAC', 'INTC']
df_stocks = yf.download(tickers, start='2018-01-01', end='2023-03-01')['Adj Close']

df_stocks.tail()
```

	AAPL	AMZN	BAC	F	GOOGL	INTC	NVDA	TSLA
Date								
2023-02-22	148.910004	95.790001	34.069035	12.21	91.650002	25.469999	207.539993	200.860001
2023-02-23	149.399994	95.820000	34.039227	12.07	90.889999	25.610001	236.639999	202.070007
2023-02-24	146.710007	93.500000	33.989548	11.88	89.129997	25.139999	232.860001	196.880005
2023-02-27	147.919998	93.760002	33.989548	12.06	89.870003	24.900000	235.009995	207.630005
2023-02-28	147.410004	94.230003	34.078968	12.07	90.059998	24.930000	232.160004	205.710007

Рис. 4. Скачивание данных

Fig. 4. Download data

Перейдем к расчетам по оптимизации портфеля и начнем с определения ожидаемой доходности и дисперсии портфеля. Далее сохраним значения весов портфеля с максимальным коэффициентом Шарпа и минимальной дисперсией.

На рис. 5 происходит вывод основных характеристик портфеля для дальнейшей оптимизации.

```
#Годовая доходность
mu = expected_returns.mean_historical_return(df_stocks)
#Дисперсия портфеля
Sigma = risk_models.sample_cov(df_stocks)
#Максимальный коэффициент Шарпа
ef = EfficientFrontier(mu, Sigma, weight_bounds=(0,1))
sharpe_pfolio=ef.max_sharpe()
print(sharpe_pwt)

OrderedDict([('AAPL', 0.63367), ('AMZN', 0.0), ('BAC', 0.0), ('F', 0.0), ('GOOGL', 0.0), ('INTC', 0.0), ('NVDA', 0.02003), ('TSLA', 0.3463)])

ef1 = EfficientFrontier(mu, Sigma, weight_bounds=(0,1))
minvol=ef1.min_volatility()
minvol_pwt=ef1.clean_weights()
print(minvol_pwt)

OrderedDict([('AAPL', 0.16161), ('AMZN', 0.16646), ('BAC', 0.24537), ('F', 0.10296), ('GOOGL', 0.23731), ('INTC', 0.08628), ('NVDA', 0.0), ('TSLA', 0.0)])

ef1.portfolio_performance(verbose=True, risk_free_rate = 0.27)

Expected annual return: 9.5%
Annual volatility: 27.2%
Sharpe Ratio: -0.64
(0.09488480822354675, 0.27187796811372195, -0.6440948230980068)
```

Рис. 5. Основные характеристики портфеля

Fig. 5. Main characteristics of the portfolio

Годовая процентная доходность — ставка дохода, вычисленная с учётом применения к депозитам или инвестиционным продуктам сложных процентов. Позволяет упростить сравнение доходности для годовых сложных процентов с различающимися интервалами начисления дохода. Дисперсия случайной величины — мера разброса значений случайной величины относительно её математического ожидания.

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

Коэффициент Шарпа — показатель эффективности инвестиционного портфеля (актива), который вычисляется как отношение средней премии за риск к среднему отклонению портфеля.

$$S = \frac{E[R - R_f]}{\sigma}$$

где R — доходность портфеля (актива),

R_f — доходность от альтернативного вложения (как правило, берётся безрисковая процентная ставка),

$E[R - R_f]$ — премия за риск (математическое ожидание превышения доходности активов над доходностью от альтернативного вложения),

σ — стандартное отклонение доходности портфеля (актива). [18]

Следующим этапом является построение кривой «риск/доходность» в модели Марковица, это видно на рис. 5:

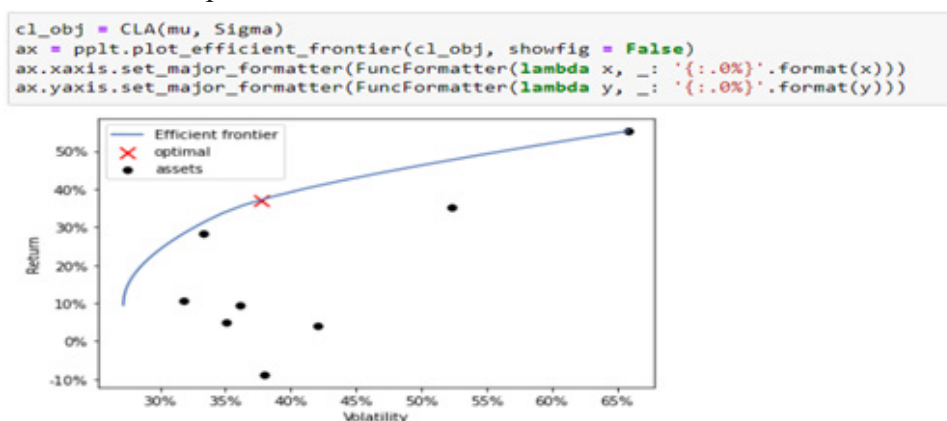


Рис. 6. Кривая риск/доходность портфеля

Fig. 6. Portfolio risk/return curve

После получения графика делается заключение о том, какой портфель из представленных компаний является наилучшим по минимизации рисков и получения максимальной прибыли.

```
latest_prices1 = get_latest_prices(df_stocks)
allocation_shp, rem_shp = DiscreteAllocation(sharpe_pwt, latest_prices1, total_portfolio_value=1000).
print(allocation_shp)
print("Осталось денежных средств после построения портфеля с максимальным коэффициентом Шарпа {:.2f}")
```

{'AMZN': 1, 'BAC': 2, 'F': 19, 'GOOGL': 1, 'INTC': 3, 'TSLA': 2}

Осталось денежных средств после построения портфеля с максимальным коэффициентом Шарпа 32.81

Рис. 7. Финальный результат

Fig. 7. Final result

Для получения конечного результата необходимо внести в программу депозит, которым владеет инвестор. В данной случае для удобства добавим в программу сумму в размере 1000\$. Программа после всех запрограммированных расчетов предложит приобрести одну акцию Amazon и Google, две акции Bank of America и Tesla, три акции Intel и девятнадцать акций Ford.

Вывод. В статье представлены результаты обзора одной из самых популярных портфельных теорий, которая была разработана экономистом Гарри Марковицем.

В ходе исследования квантовой торговли были изучены принципы байесовской статистики, анализа временных рядов и машинного обучения, — которые дополняют процесс количественного исследования трейдинга, чтобы помочь обнаружить источники альфы. Многие из этих методов используются некоторыми крупнейшими мировыми управляющими активами и количественными хедж-фондами. Алгоритмы машинного обучения, которые были описаны и применены к финансовым данным для разработки проверяемых систематических торговых стратегий со временем подлежат улучшению и развитию.

Разработана программа для того, что была возможность использовать портфельную теорию не ручными расчётами, а алгоритмическими. Для примера в данной статье использованы акции с биржи Nasdaq. В продолжение данной статьи будет разработан продукт для акций с Московской биржи, так как покупка акции США в данный период несет за собой экономические риски, связанные с прошедшим блокировкой активов в 2022 году. Для этого необходимо будет разработать API для получения исторических данных с новых бирж, так как существующие решения не отвечают требованиям квантовой торговли.

Библиографический список:

1. Гитман Л. Дж., Джонк М. Д. Основы инвестирования. Пер. с англ. — М.: Дело, 1997. — 1008 с.
2. Красс М.С., Чупрынов Б.П. Математика для экономистов. - СПб., Питер, 2009. - с. 251.

3. Ю. Ф. Касимов. Основы теории оптимального портфеля ценных бумаг — М: Информационно-издательский дом «Филинъ», 1998. — 144 с.
4. Волкова, П.А. Статистическая обработка данных в учебно-исследовательских работах / П.А. Волкова, А.Б. Шипунов. - М.: Форум, 2012. - 96 с.
5. Большаков А. Методы обработки многомерных данных и временных рядов.- М.: ГИТ, 2007. - 522 с.
6. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования. – М.: Высшая школа. – 1984. – 439 с.
7. Jansen S. Hands-On Machine Learning for Algorithmic Trading - Бирмингем: Packt Publishing, 2019. – 686 с.
8. Hilpisch Y. Python for Finance: Analyze Big Financial Data – Себастиопол: O'Reilly Media, 2015. – 606 с.
9. Булавин Л.А. Компьютерное моделирование физических систем: учебное пособие / Л.А. Булавин, Н.В. Выгорницкий, Н. И. Лебовка – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 349 с.
10. Морозов В.К. Моделирование информационных и динамических систем: учебное пособие для вузов / В.К. Морозов, Г.Н. Рогачов – М.: Академия, 2011. – 377 с.
11. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: Физматлит, 2003. – С. 432.
12. Маккинни У. Python и анализ данных - Москва: ДМК Пресс, 2015. – 482 с.
13. Григорьев, А.А. Методы и алгоритмы обработки данных: Учебное пособие / А.А. Григорьев. - М.: Инфра-М, 2018. - 384 с.
14. Ma Weiming J. Mastering Python for Finance - Бирмингем: Packt Publishing, 2019. – 428 с.
15. Остроух А.В. Ввод и обработка цифровой информации. Учебник - М.: Academia, 2017. - 384 с.
16. Peter Bruce Practical Statistics for Data Scientists: 50+ Essential Concepts Using R and Python - O'Reilly Media, 2017. – 320 с.
17. Seiersen R. The Metrics Manifesto: Confronting Security with Data – Wiley, 2022. – 320 с.
18. Peter C. Bruce Data Mining for Business Analytics: Concepts, Techniques, and Applications – Wiley, 2016. – 560 с.

References

1. Gitman L. J., Dzhonk M. D. Fundamentals of investment. Per. from English. M Delo, 1997;1008. (In Russ)
2. Krass M.S., Chuprynov B.P. Mathematics for economists. - St. Petersburg, Peter, 2009; 251. (In Russ)
3. Yu. F. Kasimov. Fundamentals of the theory of the optimal portfolio of securities - M: Information and Publishing House "Filin", 1998;144. (In Russ)
4. Volkova P.A., Shipunov A.B. Statistical data processing in educational research work. M.:Forum, 2012; 96. (In Russ)
5. Bol'shakov A. Methods for processing multidimensional data and time series. M.: GLT, 2007; 522.(In Russ)
6. Venikov V.A., Venikov G.V. Theory of similarity and modeling. M.: Higher school. 1984; 439 (In Russ)
7. Jansen S. Hands-On Machine Learning for Algorithmic Trading - Birmingham: Packt Publishing, 2019; 686.
8. Hilpisch Y. Python for Finance: Analyze Big Financial Data - Sebastopol: O'Reilly Media, 2015; 606.
9. Bulavin L.A. Computer modeling of physical systems: textbook / L.A. Bulavin, N.V. Vygornitsky, N. I. Lebovka - Dolgoprudny: Intelligence, 2011; 349. (In Russ)
10. Morozov V.K. Modeling of information and dynamic systems: a textbook for universities / V.K. Morozov, G.N. Rogachov - M. : Academy, 2011; 377.(In Russ)
11. Emelyanov V. V., Kureichik V. V., Kureichik V. M. Theory and practice of evolutionary modeling. – M.: Fizmatlit, 2003; 432. (In Russ)
12. McKinney W. Python and data analysis - Moscow: DMK Press, 2015; 482. (In Russ)
13. Grigoriev, A.A. Methods and algorithms for data processing: Textbook M.: Infra-M, 2018; 384. (In Russ)
14. Ma Weiming J. Mastering Python for Finance - Birmingham: Packt Publishing, 2019; 428.
15. Ostroukh, A.V. Input and processing of digital information. Textbook. M.: Academia, 2017; 384.(In Russ)
16. Peter Bruce Practical Statistics for Data Scientists: 50+ Essential Concepts Using R and Python - O'Reilly Media, 2017; 320.
17. Seiersen R. The Metrics Manifesto: Confronting Security with Data - Wiley, 2022; 320.
18. Peter C. Bruce Data Mining for Business Analytics: Concepts, Techniques, and Applications Wiley, 2016; 560.

Сведения об авторе:

Байдалин Александр Дмитриевич, аспирант кафедры прикладных информационных технологий и программирования; alexander.baydalin@gmail.com

Information about authors:

Alexander D. Baydalin, post-graduate student of the Department of Applied Information Technologies and Programming; alexander.baydalin@gmail.com

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 23.09.2023.

Одобрена после рецензирования / Reviced 15.10.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 15.10.2023.