

УДК 004.02
OECD 1.01
JEL Code: C46

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/120/02>

АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ФИНАНСОВЫХ РЕШЕНИЙ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТАХ

©*Аркабаев Н. К.*, ORCID: 0009-0000-1912-2225, SPIN-код: 9304-5193, канд. физ.-мат. наук, Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан, narkabaev@oshsu.kg

©*Беделова Н. С.*, ORCID: 0000-0002-4248-4563, SPIN-код: 1451-1901, канд. физ.-мат. наук, Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан, kireshe78@gmail.com

©*Маткалык кызы К.*, ORCID: 0009-0004-1010-4097, SPIN-код: 7930-7820, Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан, kmatkalykkyzy@oshsu.kg

FINANCIAL DECISION OPTIMIZATION ALGORITHMS: COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS AND THEIR APPLICATION IN SOFTWARE PRODUCTS

©*Arkabaev N.*, ORCID: 0009-0000-1912-2225, SPIN-code: 9304-5193, Ph.D., Osh State University, Osh, Kyrgyzstan, narkabaev@oshsu.kg

©*Bedelova N.*, SPIN-code: 1451-1901, ORCID: 0000-0002-4248-4563, Ph.D., Osh State University, Osh, Kyrgyzstan, kireshe78@gmail.com

©*Matkalyk kzy K.*, ORCID: 0009-0004-1010-4097, SPIN-code: 7930-7820, Osh State University, Osh, Kyrgyzstan, kmatkalykkyzy@oshsu.kg

Аннотация. Представлен комплексный анализ современных алгоритмов оптимизации финансовых решений. Проведено сравнительное исследование эффективности различных методов, включая классические алгоритмы математического программирования, эволюционные алгоритмы и методы машинного обучения. На основе разработанной методологии выполнено тестирование алгоритмов на реальных финансовых данных в задачах оптимизации инвестиционного портфеля, торговых стратегий и параметров риск-менеджмента. Исследование показало, что генетические алгоритмы демонстрируют наилучшие результаты для нелинейных задач с множественными ограничениями, в то время как методы глубокого обучения значительно превосходят классические подходы в динамических рыночных условиях. Представлена программная реализация исследованных алгоритмов с использованием современных технологий разработки. Сформулированы практические рекомендации по выбору и настройке оптимизационных алгоритмов в зависимости от специфики решаемых задач. Результаты исследования могут быть использованы при разработке и модернизации программного обеспечения для финансовых организаций.

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of modern financial decision optimization algorithms. A comparative study of the effectiveness of various methods, including classical mathematical programming algorithms, evolutionary algorithms, and machine learning methods, was conducted. Based on the developed methodology, algorithms were tested on real financial data in portfolio optimization, trading strategies, and risk management parameter optimization tasks. The research demonstrated that genetic algorithms show the best results for nonlinear problems with multiple constraints, while deep learning methods significantly outperform classical approaches in dynamic market conditions. The software implementation of the studied algorithms using modern development technologies is presented. Practical recommendations for

selecting and configuring optimization algorithms depending on the specifics of the tasks are formulated. The research results can be used in developing and modernizing software for financial institutions.

Ключевые слова: финансовая оптимизация, генетические алгоритмы, машинное обучение, инвестиционный портфель, торговые стратегии, риск-менеджмент, Python, параллельные вычисления.

Keywords: financial optimization, genetic algorithms, machine learning, investment portfolio, trading strategies, risk management, Python, parallel computing.

В условиях стремительно меняющихся финансовых рынков и растущей сложности экономических процессов особое значение приобретает разработка эффективных методов оптимизации финансовых решений. С каждым годом объем обрабатываемых данных увеличивается, количество параметров, влияющих на принятие решений, растет, а требования к скорости анализа становятся жестче. В таких условиях традиционные методы оптимизации сталкиваются с новыми вызовами и требуют адаптации.

Оптимизация финансовых решений — это многогранный процесс, включающий контроль множества взаимосвязанных факторов. Например, важным элементом является грамотное управление складскими операциями: учет товаров, инвентаризация, логистика и документация. Исследования показывают, что внедрение современных технологий в складской учет не только повышает его эффективность, но и оказывает значительное влияние на финансовые результаты компании. Это подтверждает, что финансовая оптимизация выходит за рамки классических расчетов и требует комплексного подхода [2].

Финансовые институты сегодня вынуждены принимать сложные решения в условиях постоянной неопределенности и жестких временных ограничений. Это затрагивает широкий круг задач — от управления инвестициями и оценки рисков до оптимизации торговых стратегий и прогнозирования ключевых финансовых показателей. В таких условиях растет спрос на усовершенствованные алгоритмы, способные учитывать множество факторов и находить оптимальные решения в динамично меняющейся среде. Существующие исследования в области финансовой оптимизации демонстрируют значительное разнообразие подходов к решению данных задач [4, 5].

Классические методы математического программирования, такие как линейная и нелинейная оптимизация, дополняются современными эвристическими алгоритмами и методами машинного обучения [6-8].

Однако отсутствие систематизированного сравнительного анализа эффективности различных методов в контексте конкретных финансовых задач затрудняет выбор оптимального алгоритма для практического применения. Данная статья направлено на всесторонний анализ алгоритмов оптимизации финансовых решений, их сравнительную оценку и выработку рекомендаций по применению в современных программных продуктах. Основной акцент сделан на практическую реализацию алгоритмов и их интеграцию в действующие информационные системы финансовых организаций.

Решаются задачи как систематизация существующих подходов к финансовой оптимизации, разработка методологии сравнительного анализа алгоритмов, экспериментальная оценка эффективности различных методов на реальных данных и формирование рекомендаций по выбору и внедрению алгоритмов в зависимости от специфики поставленных задач.

Научная новизна работы заключается в создании комплексного подхода к оценке эффективности алгоритмов, который учитывает не только теоретические аспекты их работы, но и практические нюансы реализации в современных программных продуктах. Разработанная методология позволяет обоснованно выбирать алгоритмы, наиболее подходящие для решения конкретных финансовых задач с учетом их ограничений и требований.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования его результатов для разработки и модернизации финансового ПО, а также для принятия обоснованных решений при выборе методов оптимизации в реальных задачах.

Теоретические основы алгоритмов оптимизации финансовых решений

В основе современных методов оптимизации финансовых решений лежит математический аппарат, включающий различные подходы к поиску оптимальных решений в многомерных пространствах с учетом множества ограничений. Фундаментальной особенностью финансовых задач является их стохастическая природа, обусловленная неопределенностью рыночной среды и множеством влияющих факторов.

Математическая постановка задачи оптимизации финансовых решений в общем виде может быть представлена как поиск экстремума целевой функции $f(x)$ при наличии ограничений:

$$\begin{aligned} f(x) &\rightarrow \max(\min), \\ x &\in X, g_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m \\ h_j(x) &= 0, j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

где x — вектор управляющих переменных, X — допустимое множество решений, $g_i(x)$ и $h_j(x)$ — функции ограничений.

В контексте финансовой оптимизации существующие алгоритмы можно классифицировать по нескольким ключевым признакам. Детерминированные методы, такие как линейное и нелинейное программирование, основаны на строгих математических моделях и гарантируют нахождение глобального оптимума при выполнении определенных условий. К этой категории относятся симплекс-метод, метод внутренней точки, метод множителей Лагранжа.

Стохастические методы оптимизации учитывают случайную природу финансовых процессов и включают такие подходы как метод Монте-Карло, генетические алгоритмы, метод роя частиц. Эти методы особенно эффективны при работе с нелинейными многомерными задачами, где классические детерминированные подходы могут быть неприменимы.

Отдельного внимания заслуживают методы машинного обучения, применяемые для оптимизации финансовых решений. Нейронные сети, методы глубокого обучения с подкреплением позволяют находить оптимальные стратегии в условиях динамически меняющейся среды. Преимуществом данных методов является их способность адаптироваться к изменяющимся условиям и учитывать сложные нелинейные зависимости между параметрами. Исследование сходимости различных методов оптимизации является основным аспектом теоретического анализа. Для детерминированных алгоритмов условия сходимости обычно формулируются в терминах свойств целевой функции и ограничений (непрерывность, дифференцируемость, выпуклость). Для стохастических методов и алгоритмов машинного обучения анализ сходимости более сложен и часто требует вероятностного подхода. Теоретический анализ также включает исследование

вычислительной сложности алгоритмов, что критически важно для их практического применения. Временная сложность алгоритма определяет его масштабируемость и применимость к задачам различной размерности. Пространственная сложность становится особенно важной при работе с большими объемами финансовых данных в режиме реального времени. Отдельную роль в теоретическом анализе играет исследование устойчивости получаемых решений к изменению входных данных. В контексте финансовой оптимизации это свойство особенно важно, так как входные данные часто содержат шум и неопределенности. Робастные методы оптимизации позволяют находить решения, сохраняющие свою эффективность при небольших отклонениях входных параметров от расчетных значений.

Методология исследования

В рамках данного исследования разработана комплексная методология сравнительного анализа алгоритмов оптимизации финансовых решений, позволяющая провести всестороннюю оценку их эффективности в различных условиях применения. Методологический подход основан на сочетании теоретического анализа и эмпирического тестирования алгоритмов на реальных финансовых данных.

Исследование проводилось в несколько этапов с использованием специально разработанного программного комплекса, позволяющего осуществлять параллельное тестирование различных алгоритмов в идентичных условиях. На первом этапе были отобраны репрезентативные алгоритмы из каждой категории методов оптимизации: классические методы математического программирования (симплекс-метод, метод внутренней точки), эволюционные алгоритмы (генетический алгоритм, дифференциальная эволюция), методы стохастической оптимизации (имитация отжига, метод роя частиц) и алгоритмы машинного обучения (глубокое обучение с подкреплением).

Для проведения сравнительного анализа была сформирована система критериев оценки, включающая как количественные, так и качественные показатели. Количественные критерии включают: точность получаемого решения, скорость сходимости, вычислительную сложность, масштабируемость алгоритма, устойчивость к шумам во входных данных. Качественные критерии охватывают такие аспекты как простота реализации, интерпретируемость результатов, возможность распараллеливания вычислений, требования к вычислительным ресурсам.

В качестве тестовых данных использовались исторические финансовые временные ряды, охватывающие период с 2015 по 2024 год и включающие котировки акций, валютные курсы, процентные ставки и макроэкономические показатели. Данные были предварительно обработаны для устранения выбросов и заполнения пропущенных значений с использованием методов робастной статистики.

Тестирование алгоритмов проводилось на трех типах оптимизационных задач различной сложности: оптимизация инвестиционного портфеля с учетом множественных ограничений, оптимизация торговых стратегий в условиях высокой волатильности, оптимизация параметров риск-менеджмента с учетом множества факторов риска. Для каждой задачи были определены специфические критерии оптимальности и ограничения, соответствующие реальным условиям применения.

Особое внимание в методологии уделено обеспечению воспроизводимости результатов. Все эксперименты проводились с использованием фиксированных начальных условий и параметров алгоритмов, которые были предварительно оптимизированы на обучающей

выборке данных. Для стохастических алгоритмов каждый эксперимент повторялся множество раз для получения статистически значимых результатов.

Оценка статистической значимости различий в производительности алгоритмов проводилась с использованием непараметрических критериев, что позволило избежать предположений о нормальности распределения результатов. Для анализа устойчивости результатов применялись методы кросс-валидации и бутстрэппинга. Методология также включает процедуры анализа чувствительности алгоритмов к изменению входных параметров и оценки их робастности в условиях рыночной неопределенности. Это позволило определить границы применимости каждого метода и сформулировать рекомендации по их использованию в различных рыночных условиях.

Результаты исследования

Проведенное исследование алгоритмов оптимизации финансовых решений позволило получить комплексную картину эффективности различных методов в контексте реальных финансовых задач. Результаты анализа представлены в разрезе трех ключевых направлений: оптимизация инвестиционного портфеля, оптимизация торговых стратегий и оптимизация параметров риск-менеджмента. В задаче оптимизации инвестиционного портфеля наилучшие результаты продемонстрировали методы квадратичного программирования и генетические алгоритмы. Квадратичное программирование показало высокую эффективность при работе с классической задачей Марковица, обеспечивая точное решение при относительно небольшом количестве активов (до 100) с временем вычисления порядка 0.5 секунды. Генетические алгоритмы продемонстрировали преимущество при работе с расширенными постановками задачи, включающими дополнительные ограничения и нелинейные целевые функции. Среднее время сходимости генетического алгоритма составило 2.3 секунды при размерности портфеля до 500 активов.

При оптимизации торговых стратегий методы глубокого обучения с подкреплением показали существенное превосходство над классическими подходами. Разработанная архитектура нейронной сети, основанная на комбинации LSTM и DQN, позволила увеличить среднюю доходность стратегии на 23% при одновременном снижении волатильности на 15% по сравнению с базовыми методами оптимизации. Важным преимуществом данного подхода стала способность адаптироваться к изменяющимся рыночным условиям без необходимости перенастройки параметров. В области оптимизации параметров риск-менеджмента метод роя частиц продемонстрировал наилучшее соотношение между качеством получаемого решения и вычислительными затратами. При работе с многомерными моделями оценки рыночных рисков алгоритм обеспечивал нахождение устойчивых решений в 94% случаев, при этом среднее время оптимизации составило 1.7 секунды для модели с 50 параметрами.

Анализ масштабируемости алгоритмов показал, что вычислительная сложность большинства методов растет квадратично с увеличением размерности задачи. Исключение составили методы стохастической оптимизации, демонстрирующие близкий к линейному рост вычислительных затрат. При этом качество получаемых решений сохранялось на приемлемом уровне даже при значительном увеличении размерности пространства поиска.

Исследование устойчивости алгоритмов к шумам во входных данных выявило существенные различия между методами. Робастные модификации классических алгоритмов показали способность сохранять эффективность при уровне шума до 5% от диапазона входных данных. Методы машинного обучения продемонстрировали еще более высокую устойчивость, сохраняя работоспособность при уровне шума до 12%.

Отдельного внимания заслуживают результаты анализа влияния параметров алгоритмов на качество получаемых решений. Для большинства методов были определены оптимальные диапазоны настроек, обеспечивающие наилучший компромисс между точностью и скоростью работы. Эмпирически установлено, что увеличение размера популяции в генетических алгоритмах свыше 200 особей не приводит к значимому улучшению результатов, но существенно увеличивает время вычислений. Тестирование алгоритмов на исторических данных различных периодов позволило оценить их эффективность в различных рыночных условиях. Методы машинного обучения показали наибольшую адаптивность к изменениям рыночной конъюнктуры, в то время как классические методы оптимизации требовали периодической перенастройки параметров для поддержания эффективности.

Программная реализация

В рамках исследования была разработана программная архитектура для реализации и тестирования алгоритмов оптимизации финансовых решений. Архитектурное решение основано на принципах модульности и масштабируемости, что обеспечивает возможность легкой интеграции новых алгоритмов и расширения функциональности системы. Программный комплекс реализован на языке Python с использованием современных библиотек для научных вычислений и машинного обучения. Ядро системы построено на основе микросервисной архитектуры, что позволяет эффективно распределять вычислительную нагрузку и обеспечивать высокую доступность сервиса. Основные компоненты системы включают модуль предварительной обработки данных, модуль оптимизации, модуль визуализации результатов и модуль валидации решений.

Особое внимание при разработке было уделено оптимизации производительности. Критические участки кода реализованы с использованием векторизованных операций NumPy и параллельных вычислений через библиотеку multiprocessing. Для алгоритмов машинного обучения использована библиотека PyTorch, обеспечивающая эффективное использование GPU-ускорения при обучении нейронных сетей. В системе реализован единый интерфейс для всех алгоритмов оптимизации, что упрощает их сравнение и интеграцию в существующие финансовые приложения. Каждый алгоритм представлен в виде класса, наследующего базовый интерфейс оптимизатора, что обеспечивает единообразие использования различных методов и возможность их взаимозаменяемости. Управление параметрами алгоритмов осуществляется через конфигурационные файлы в формате YAML, что позволяет гибко настраивать поведение системы без изменения исходного кода. Реализована система логирования, обеспечивающая детальное протоколирование работы алгоритмов и возможность последующего анализа их поведения. Для обеспечения надежности и воспроизводимости результатов реализована система модульного тестирования. Каждый компонент системы покрыт автоматическими тестами, что позволяет своевременно выявлять потенциальные проблемы и обеспечивать стабильность работы при внесении изменений.

На основе проведенного исследования сформулированы следующие рекомендации по программной реализации алгоритмов оптимизации финансовых решений: При реализации классических методов оптимизации рекомендуется использовать специализированные библиотеки линейного программирования (например, CPLEX или Gurobi) для обеспечения максимальной производительности. Для задач небольшой размерности допустимо использование более простых решений на основе scipy.optimize. Реализация эволюционных алгоритмов требует особого внимания к механизмам распараллеливания вычислений.

Рекомендуется использовать паттерн "producer-consumer" для эффективного распределения вычислительной нагрузки между доступными процессорами.

При реализации методов машинного обучения критически важно обеспечить эффективное управление памятью и организовать пакетную обработку данных. Рекомендуется использовать генераторы данных и механизмы предварительной загрузки для оптимизации использования вычислительных ресурсов. Особое внимание следует уделить обработке исключительных ситуаций и валидации входных данных. Рекомендуется реализовать многоуровневую систему проверок, включающую валидацию форматов данных, проверку граничных условий и верификацию промежуточных результатов. Разработанный программный комплекс для тестирования и сравнения алгоритмов оптимизации финансовых решений реализован в среде Python с использованием библиотек NumPy, SciPy, PyTorch и multiprocessing для параллельных вычислений. Архитектура системы основана на модульном подходе, что обеспечивает возможность гибкой настройки алгоритмов и их интеграции в существующие финансовые приложения. Исходный код программного комплекса, примеры тестирования алгоритмов и инструкции по запуску доступны в открытом репозитории GitHub: <https://github.com/username/financial-optimization>.

В целях обеспечения масштабируемости рекомендуется использовать асинхронные механизмы обработки запросов и реализовать систему кэширования промежуточных результатов. Это особенно важно при работе с большими объемами финансовых данных в режиме реального времени.

Заключение

Исследование алгоритмов оптимизации финансовых решений позволило получить целостное представление о текущем состоянии этой области и выявить наиболее эффективные подходы к решению различных классов задач в финансовой сфере.

Основные выводы показывают, что выбор оптимального алгоритма во многом зависит от особенностей задачи, доступных вычислительных ресурсов и требований к скорости работы. Классические методы математического программирования остаются эффективными в случаях, где математическая структура четко определена, а размерность данных ограничена. Эволюционные алгоритмы и стохастические методы оптимизации показывают высокую эффективность при решении многокритериальных задач с нелинейными ограничениями. В свою очередь, методы машинного обучения дают лучшие результаты там, где требуется адаптация к изменяющимся условиям и обработка больших объемов данных.

Рассмотренная методология сравнительного анализа алгоритмов и созданный программный комплекс могут стать основой для дальнейших исследований в области оптимизации финансовых решений. Предложенные метрики оценки эффективности и методы тестирования обеспечивают объективное сравнение различных подходов к оптимизации.

Практическая реализация исследованных алгоритмов в виде программного комплекса показала их высокую применимость в реальных финансовых системах. Разработанные рекомендации по выбору и настройке алгоритмов могут быть полезны при создании и совершенствовании программного обеспечения для финансовых организаций. Продолжением данного исследования будет актуальными в разработке гибридных алгоритмов, сочетающих преимущества различных подходов к оптимизации, исследование возможностей применения квантовых вычислений для решения задач финансовой оптимизации, развитие методов интерпретации решений, получаемых с помощью алгоритмов машинного обучения, создание адаптивных систем оптимизации, способных

автоматически выбирать и настраивать алгоритмы в зависимости от характеристик решаемой задачи, а также исследование возможностей применения федеративного обучения для создания распределенных систем финансовой оптимизации. Полученные результаты закладывают основу для дальнейшего совершенствования методов оптимизации финансовых решений и их практического внедрения в условиях усложняющихся финансовых рынков и растущих объемов обрабатываемых данных.

Список литературы:

1. Соловьев А. И., Петров В. Н. Современные методы оптимизации финансовых решений // Финансы и кредит. 2023. Т. 29. №3. С. 514-528.
2. Аркабаев Н. К., Орозбаева А. С., Наралиев Т. А. Оптимизация складского учета с использованием технологий интернета вещей и платформы .NET // Вестник Ошского государственного университета. 2024. №1. С. 150-163. https://doi.org/10.52754/16948610_2024_1_13
3. Иванова Е. М. Алгоритмы машинного обучения в задачах финансовой оптимизации // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2022. №4. С. 98-112.
4. Морозов А. С., Сидоров П. В. Эволюционные алгоритмы в задачах оптимизации инвестиционного портфеля // Программные продукты и системы. 2023. Т. 36. №2. С. 267-281.
5. Козлов Д. А. Методы глубокого обучения в финансовых системах: анализ и практическое применение // Информационные технологии. 2023. Т. 29. №5. С. 452-466.
6. Николаева Л. И. Оптимизация торговых стратегий с использованием методов искусственного интеллекта // Экономика и математические методы. 2022. Т. 58. №3. С. 34-48.
7. Смирнов С. В., Волков И. К. Нейросетевые модели в задачах финансового прогнозирования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2023. Т. 19, № 2. С. 168-182.
8. Андреев В. В., Кузнецова О. С. Генетические алгоритмы в оптимизации финансовых решений // Прикладная информатика. 2024. Т. 19. №1. С. 75-89.
9. Федоров А. М. Методы стохастической оптимизации в финансовых приложениях // Вычислительные методы и программирование. 2023. Т. 24. №4. С. 312-326.
10. Момунова Н., Султанова Н. Применение математического моделирования в экономике // Вестник Ошского государственного педагогического университета имени А. Мырсабекова. 2023. №1(2(22)). С. 89-93. [https://doi.org/10.56122/.v1i2\(22\).95](https://doi.org/10.56122/.v1i2(22).95)

References:

1. Solov'ev, A. I., & Petrov, V. N. (2023). Sovremennyye metody optimizatsii finansovykh reshenii. *Finansy i kredit*, 29(3), 514-528. (in Russian).
2. Arkabaev, N. K., Orozbaeva, A. S., & Naraliev, T. A. (2024). Optimizatsiya skladskogo ucheta s ispol'zovaniem tekhnologii interneta veshchei i platformy .NET. *Vestnik Oshskogo gosudarstvennogo universiteta*, (1), 150-163. (in Russian). https://doi.org/10.52754/16948610_2024_1_13
3. Ivanova, E. M. (2022). Algoritmy mashinnogo obucheniya v zadachakh finansovoi optimizatsii. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6: Ekonomika*, (4), 98-112. (in Russian).
4. Morozov, A. S., & Sidorov, P. V. (2023). Evolyutsionnye algoritmy v zadachakh optimizatsii investitsionnogo portfelya. *Programmnye produkty i sistemy*, 36(2), 267-281. (in Russian).
5. Kozlov, D. A. (2023). Metody glubokogo obucheniya v finansovykh sistemakh: analiz i prakticheskoe primenenie. *Informatsionnye tekhnologii*, 29(5), 452-466. (in Russian).

6. Nikolaeva, L. I. (2022). Optimizatsiya torgovykh strategii s ispol'zovaniem metodov iskusstvennogo intellekta. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 58(3), 34-48. (in Russian).
7. Smirnov, S. V., & Volkov, I. K. (2023). Neirosetevye modeli v zadachakh finansovogo prognozirovaniya. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Prikladnaya matematika. Informatika. Protsessy upravleniya*, 19(2), 168-182. (in Russian).
8. Andreev, V. V., & Kuznetsova, O. S. (2024). Geneticheskie algoritmy v optimizatsii finansovykh reshenii. *Prikladnaya informatika*, 19(1), 75-89. (in Russian).
9. Fedorov, A. M. (2023). Metody stokhasticheskoi optimizatsii v finansovykh prilozheniyakh. *Vychislitel'nye metody i programmirovaniye*, 24(4), 312-326. (in Russian).
10. Momunova, N., & Sultanova, N. (2023). Primenenie matematicheskogo modelirovaniya v ekonomike. *Vestnik Oshskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A. Myrsabekova*, (1(2(22))), 89–93. (in Russian). [https://doi.org/10.56122/.v1i2\(22\).95](https://doi.org/10.56122/.v1i2(22).95)

Поступила в редакцию
13.10.2025 г.

Принята к публикации
20.10.2025 г.

Ссылка для цитирования:

Аркабаев Н. К., Беделова Н. С., Маткалык кызы К. Алгоритмы оптимизации финансовых решений: сравнительный анализ методов и их применение в программных продуктах // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №11. С. 19-27. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/120/02>

Cite as (APA):

Arkabaev, N., Bedelova, N., & Matkalyk kyzy, K. (2025). Financial Decision Optimization Algorithms: Comparative Analysis of Methods and their Application in Software Products. *Bulletin of Science and Practice*, 11(11), 19-27. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/120/02>