

5. Sklearn.linear\_model.SGDClassifier. URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear\\_model.SGDClassifier.html#sklearn.linear\\_model.SGDClassifier](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.SGDClassifier.html#sklearn.linear_model.SGDClassifier) (accessed: 18.11.2023).
6. What is Scikit Learn – A guide to the popular python library for beginners. URL: <https://datastart.ru/blog/read/chto-takoe-scikit-learn-gayd-po-populyarnoy-biblioteke-python-dlya-nachinayuschih> (accessed: 19.11.2023). (In Russ.)
7. Palmov S.V., Diyazitdinova A.A., Gubareva O.Yu. Telecommunication traffic analysis using ORANGE analytical system. *Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii*, 2019, vol. 7, no. 1(24), pp. 378–386. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.031 (In Russ.)
8. Do things right – things will be fine: normalization in practice – methods and means of data preparation. URL: <https://bigdataschool.ru/blog/нормализация-методы-средства-data-preparation.html> (accessed: 18.11.2023). (In Russ.)
9. How to Manually Optimize Machine Learning Model Hyperparameters. URL: <https://machinelearningmastery.com/manually-optimize-hyperparameters/> (accessed: 18.11.2023).
10. What is the Difference between a Parameter and a Hyperparameter? URL: <https://machinelearningmastery.com/difference-between-a-parameter-and-a-hyperparameter/> (accessed: 18.11.2023).

*Received 27.11.2023*

УДК 004.94

## ПРОГРАММНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В МЕТРОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ: АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ

*Собин А.Е.*

*Московский финансово-юридический университет, Москва, РФ  
E-mail: view7goog757@gmail.com*

В настоящей статье рассматриваются цели оптимального распределения ресурсов в строительных организациях метрополитена, включая повышение эффективности работ, сокращение продолжительности проекта и минимизацию затрат. Рассматриваются основные методы оптимизации, такие как математическое моделирование, анализ критического пути, использование сетевых графов и другие. Автором изучается роль программного обеспечения для управления проектами в обеспечении комплексного контроля над планированием, ресурсами и исполнением. Кроме того, в статье подчеркивается важность использования языка программирования Python и его библиотек, таких как Pandas, Scikit-learn и Matplotlib, для анализа и оптимизации распределения ресурсов в метростроении. Приведен конкретный пример программной реализации анализа рисков, связанных с задержками поставок в метростроительстве, с использованием языка программирования Python и его ключевых библиотек. Использовались Pandas для обработки и анализа данных, NumPy для выполнения сложных математических расчетов, а также Matplotlib для наглядной визуализации полученных результатов.

**Ключевые слова:** ресурсы, оптимизация, методы оптимизации, метростроительные организации, эффективность, затраты

### **Введение**

В современных условиях сложной экономической ситуации, роста стоимости строительных материалов и введения ограничительных мер повышается значимость оптимизации процессов строительства. Оптимизация строительных проектов в организациях играет ключевую роль в достижении баланса между важнейшими аспектами, такими как стоимость, соблюдение графика и обеспечение высокого качества.

Оптимизация строительных проектов в организации направлена на эффективное использование

ресурсов и снижение издержек. Путем анализа и оптимизации всех этапов строительного процесса можно достичь оптимального сочетания стоимости работ, соблюдения установленных сроков и обеспечения высокого уровня качества [5, 14].

Обеспечение материально-техническими ресурсами в области метростроительства является ключевым фактором, напрямую влияющим на успешность внедрения таких сложных инфраструктурных задач. Задержки в поставке необходимых строительных материалов, оборудования и техники могут привести к непредвиденному

удлинению сроков метростроительных работ, увеличению сметных расходов не только на отдельные работы, но и на весь проект организации в целом [10].

Неэффективное распределение ресурсов может также привести к неравномерной загрузке строительной техники и транспортных средств, что ухудшает координацию работ и увеличивает общие затраты. Кроме того, это может вызвать другие значительные проблемы, такие как увеличение риска простоев, нарушение графиков подачи материалов и переработку персонала. На основании указанного оптимизация процесса распределения ресурсов становится критически важной в метростроительных организациях, чтобы обеспечить своевременное выполнение работ и минимизировать экономические затраты [2; 4]. Следовательно, проблема оптимального распределения доступных ресурсов становится критически важной и актуальной задачей в планировании и управлении метростроительными работами, особенно в условиях ограниченности ресурсов. Решение этого вопроса напрямую влияет на качество и результативность выполнения метростроительства, темп и ритмичность процесса строительства, затраты и эффективность использования трудовых ресурсов [3; 8].

Задачей настоящей статьи является разработка и оценка компьютерной модели для анализа и управления рисками задержек поставок в метростроительстве.

### **Цели, задачи и методы оптимального распределения ресурсов в метростроительных организациях**

Методы программной оптимизации процесса распределения ресурсов представляют собой набор технологий, алгоритмов и программных решений, используемых для управления и оптимизации использования доступных ресурсов в проекте или организации. Они позволяют эффек-

тивно прогнозировать, планировать распределение различных ресурсов, таких как материалы, оборудование, рабочая сила и время, а также и управлять ими, чтобы повысить производительность и снизить затраты [7].

Программная оптимизация позволяет анализировать и моделировать производственные процессы, предсказывать потребности в ресурсах, оптимизировать планирование и управление проектами, а также принимать обоснованные решения по распределению ресурсов, что включает оптимизацию поставок материалов, управление рабочей силой, планирование использования оборудования и машин, а также оптимизацию временных ресурсов.

Программные инструменты для оптимизации процесса распределения ресурсов могут включать системы управления проектами, планирование ресурсов, прогнозирование спроса, моделирование и симуляцию производственных процессов, а также алгоритмы и методы оптимизации. Оптимальное распределение ресурсов в метростроительных организациях позволяет достичь следующих целей – таблица 1.

На сегодняшний день используется ряд способов решения задач оптимизации в строительстве. К ним можно отнести следующие методы: эвристические, метаэвристические и математические – таблица 2.

В современной практике строительства метрополитена управленческий аспект и особенно вопросы оптимизации производственных процессов занимают центральное место. Многие из этих вопросов требуют применения математических и инструментальных методов для достижения наилучших результатов. Основные задачи, с которыми приходится сталкиваться в процессе строительства метро, включают содержимое таблицы 3.

Таким образом, процесс планирования и распределения ресурсов в метростроительных организациях требует стратегического мышления и

Таблица 1. Цели оптимального распределения ресурсов в метростроительных организациях

<b>Цели распределения ресурсов</b>	<b>Описание</b>
Эффективное использование ресурсов	Оптимизация закупок материалов и оборудования, оптимальное использование трудовых ресурсов, управление временными ресурсами
Обеспечение непрерывности производства	Своевременная поставка материалов и оборудования, наличие достаточного количества рабочей силы
Соблюдение бюджета и сроков	Оптимальное использование ресурсов с минимальными затратами и в пределах установленных временных рамок
Управление рисками	Учет возможных рисков и нестабильностей, разработка стратегий управления рисками

грамотного управления. Задачи включают оптимальное распределение ресурсов между операциями, критическое определение операций при ограниченных ресурсах и управление доступными ресурсами. Решение этих вопросов включает математическое моделирование и сетевые графики для визуализации динамики работ [12].

### Программные продукты для управления метростроительными проектами в организациях

Программные продукты, предназначенные для эффективного управления метростроительными проектами в организациях, играют ключевую роль в оптимизации планирования, рас-

Таблица 2. Методы оптимизации в метростроительных организациях [9; 11]

Тип метода	Описание	Примеры
Эвристический	Эмпирические методы, которые могут обеспечить удовлетворительное, но не обязательно оптимальное решение. Они особенно полезны для проблем, которые слишком сложны для решения напрямую или когда требуется быстрое, «достаточно хорошее» решение	Правила, основанные на приоритетах, алгоритмы локального поиска
Метаэвристика	Эвристические методы более высокого уровня, предназначенные для поиска, генерации или выбора эвристики, которая может обеспечить достаточно хорошее решение задачи оптимизации. Они особенно полезны для больших, сложных проблем	Генетические алгоритмы, Поиск Табу, Оптимизация муравьиной колонии, Имитация отжига
Математический (Mathematical)	Формальные, строгие методы, основанные на математических принципах. Они используются для нахождения точных решений задач оптимизации или для определения границ качества решения	Линейное программирование, Целочисленное программирование, Динамическое программирование, Оптимизация сети

Таблица 3. Основные задачи, с которыми приходится сталкиваться организациям в процессе строительства метро

Задачи	Описание	Примеры
Задачи распределения	Оптимальное распределение доступных ресурсов, включая оборудование, материалы, трудовые ресурсы, в рамках проекта	Разработка системы управления ресурсами для сбалансированного распределения рабочей силы, материалов и оборудования по всем участкам строительства метрополитена
Задачи замены	Регулярное обновление и замена оборудования и инструментов для поддержания эффективности процесса	Разработка системы, определяющей оптимальное время для обслуживания или замены оборудования, с учетом стоимости обслуживания, стоимости простоя и других факторов
Задачи поиска	Поиск оптимальных решений для конкретных проблем и препятствий, возникающих в ходе производственного процесса	Использование методов оптимизации для решения сложных проблем, таких как выбор наиболее эффективного метода бурения туннелей
Задачи массового обслуживания (задачи очередей)	Оптимизация процессов, связанных с управлением потоками работников и оборудования	Разработка и внедрение эффективных систем управления очередями для максимизации использования рабочего времени и оборудования
Задачи управления запасами	Управление складскими запасами и поставками материалов, чтобы обеспечить их доступность при необходимости	Применение систем управления запасами и методов прогнозирования спроса для минимизации простоя оборудования и оптимизации складских запасов
Задачи теории расписаний	Планирование и координация различных задач и работ, которые необходимо выполнить в процессе строительства	Использование методов критического пути или критической цепи для оптимизации графика работ и минимизации общего времени строительства

Таблица 4. Программные продукты, разработанные для управления метростроительными проектами в организациях

Название программы	Описание	Функции
Microsoft Project	Один из наиболее популярных инструментов для управления проектами, предлагающий богатый функционал	Планирование, назначение ресурсов, отслеживание прогресса, управление бюджетом и анализ рабочих нагрузок
Oracle Primavera	Мощный набор инструментов для управления портфелем проектов, обеспечивающий полный контроль над проектом с начала до конца	Управление рисками, планирование ресурсов, совместная работа
Planisware	Решение для управления портфелем проектов, предлагающее инструменты для стратегического планирования	Прогнозирование, оптимизация ресурсов
AutoCAD Civil 3D	Программное обеспечение для гражданского строительства и дизайна, которое позволяет создавать детализированные 3D-модели инфраструктурных проектов	Создание 3D-моделей, планирование, управление
Revit	Программное обеспечение для моделирования информации о здании (BIM), предоставляющее инструменты для проектирования и управления зданиями и инфраструктурой	Проектирование, управление зданиями и инфраструктурой

пределения ресурсов и обеспечивают успешное выполнение работ (таблица 4).

Динамическое программирование – это метод оптимизации, который разбивает большую задачу на меньшие, более управляемые подзадачи, которое позволяет сохранять и повторно использовать решения подзадач, чтобы не решать их несколько раз, ускоряя таким образом процесс решения.

В программном контексте для решения подобных задач существуют различные инструменты и платформы. Например, Microsoft Project и Primavera P6 обладают функциональностью для управления ресурсами, что помогает оптимизировать использование оборудования и персонала. Помимо этого, существуют специализированные программные пакеты для моделирования и оптимизации ресурсов, такие как LINGO и GAMS, которые могут быть использованы для формирования и решения задач оптимизации на основе динамического программирования [1].

Если говорить о программных решениях, то важную роль могут сыграть такие инструменты, как библиотеки Python, например NumPy и Pandas для работы с данными, SciPy для статистических методов и scikit-learn для машинного обучения. Для более сложного вероятностного моделирования можно использовать такие пакеты программ, как PyMC3 или Stan. Для работы с большими

данными используются надежные платформы Apache Hadoop или Spark. Кроме того, специализированное программное обеспечение, например AnyLogic, позволяет проводить более сложное моделирование систем, включая системы очередей и теорию массового обслуживания [6].

Говоря о программных решениях для управления запасами, следует отметить наличие специализированных инструментов, таких как SAP ERP или Oracle Supply Chain Management Cloud, которые позволяют выполнять сложные операции с запасами и цепочками поставок. С помощью этих систем можно отслеживать и управлять запасами в режиме реального времени, прогнозировать спрос, автоматизировать закупки и перезаказы, а также предоставлять подробную аналитику и отчетность.

R и MATLAB дают возможность прогнозировать будущие потребности в запасах на основе исторических данных и тенденций.

Среди программных решений для управления графиком в строительной отрасли широко используются информационные системы управления проектами (PMIS), такие как Microsoft Project, Primavera P6 и Asana. Указанные программные решения помогают планировать, организовывать и управлять ресурсными средствами, а также разрабатывать сметы ресурсов [13; 15].

## Основные методы оптимизация процесса распределения ресурсов в метро-строительных организациях

Проведенный анализ научной литературы позволил составить следующую сводную таблицу основных методов оптимизация процесса распределения ресурсов при реализации проектов в метро-строительных организациях – таблица 5.

Для более подробной программной реализации анализа рисков, связанных с задержкой поставок в метро-строительстве, можно использовать Python с библиотеками Pandas для обработки данных, NumPy для математических расчетов и Matplotlib для визуализации результатов.

Сначала нам нужно определить данные, которые будут использоваться в анализе. Для этого создадим фиктивный набор данных, который

Таблица 5. Обзор основных методов оптимизация процесса распределения ресурсов в метро-строительных организациях

Методы оптимизации	Преимущества	Недостатки
Математическое моделирование	Описывает сложные системы и обеспечивает точные решения	Требует глубоких математических знаний и времени на создание и решение моделей
Сетевые графики	Используются для визуализации и определения критического пути проекта	Ограничены в учете реальных ограничений и изменений проекта
Динамическое программирование	Эффективно при решении сложных задач с вложенными стадиями	Решение может быть сложным и требовательным к ресурсам
Линейное программирование	Обеспечивает точные и оптимальные решения	Может быть сложно применять при наличии нелинейных ограничений
Стохастическое программирование	Эффективно при решении задач с неопределенностью	Требует сложных вычислений и может быть трудно интерпретировать
Методы целочисленного программирования	Обеспечивают оптимальные решения для дискретных переменных	Может быть вычислительно сложным для больших систем
Методы нелинейного программирования	Позволяют решать задачи с нелинейными целевыми функциями	Могут быть вычислительно сложными и требовать специализированных инструментов
Методы квадратичного программирования	Позволяют решать задачи с нелинейными ограничениями	Могут быть сложными в использовании и требовать специализированных инструментов
Теория очередей	Помогает в управлении ресурсами, когда спрос случайный	Трудно применять, когда спрос и ресурсы становятся сложными и динамичными
Эвристические методы	Просты в применении, быстрые	Могут не обеспечить оптимальное решение
Метаэвристические методы	Могут решать сложные и динамичные проблемы	Требуются глубокие знания и опыт для эффективного использования
Принцип максимума Понтрягина	Оптимизирует системы с дифференциальными уравнениями	Трудно применять для сложных и нелинейных систем
Уравнение Беллмана	Эффективно для оптимизации в условиях неопределенности	Требует большого количества вычислений
Методы первого порядка (градиентные методы)	Обеспечивают быстрое решение	Могут привести к локальным, а не глобальным оптимумам
Методы второго порядка, основанные на тейлоровской аппроксимации функции Кротова-Беллмана	Предоставляют точные решения для сложных систем	Требуют значительных вычислительных ресурсов
Метод критического пути (МКП)	Помогает идентифицировать наиболее важные задачи проекта	Не учитывает ресурсные ограничения
Метод критической цепи (МКЦ)	Учитывает как время, так и ресурсные ограничения	Требует точного планирования и постоянного обновления

Методы оптимизации	Преимущества	Недостатки
Метод генетического алгоритма	Гибкий и мощный метод оптимизации, особенно при решении сложных задач	Может требовать много вычислительных ресурсов и знаний для эффективного использования
Симуляционное моделирование	Обеспечивает гибкость и подробное моделирование систем	Может быть сложным и ресурсоемким процессом
Метод проекта анализа сети (PERT)	Позволяет оценить риски и неопределенности проекта	Требует подробных данных и может быть сложным для использования
Метод прямого поиска	Прост в использовании и не требует производных	Может быть неэффективным для сложных задач
Метод Лагранжа	Позволяет решить задачу оптимизации, преобразовав ее в неограниченную задачу	Может быть сложным в применении и интерпретации для сложных систем
Методы многокритериальной оптимизации	Позволяют решать задачи с несколькими целевыми функциями	Могут быть сложными в использовании и требуют ясного определения предпочтений
Методы динамического контроля	Эффективны в условиях изменчивости и неопределенности	Требуют высокой вычислительной мощности
Методы обратной связи	Позволяют корректировать решения в реальном времени	Могут привести к нестабильности системы без правильной настройки
Метод ветвей и границ	Позволяет решить задачу целочисленного программирования с высокой точностью	Требует значительного количества вычислительных ресурсов
Методы робастной оптимизации	Позволяют управлять риском и неопределенностью	Могут быть консервативными и приводить к субоптимальным решениям
Методы векторной оптимизации	Позволяют решать задачи с несколькими целевыми функциями одновременно	Могут быть сложными в использовании и требовать ясного определения предпочтений

включает различные типы рисков, их вероятность и потенциальное воздействие:

```
import pandas as pd
# Пример данных о рисках
risks_data = [
    {'Risk': 'Delay in Supply', 'Probability': 0.3,
     'Impact': 6000000},
    {'Risk': 'Increase in Material Cost',
     'Probability': 0.25, 'Impact': 3000000},
    {'Risk': 'Labor Shortage', 'Probability': 0.2,
     'Impact': 4000000},
    # Добавляем другие риски по необходимости
]
risks_df = pd.DataFrame(risks_data)
```

Ожидаемая стоимость риска рассчитывается как произведение вероятности риска на его воздействие, что помогает определить, какие риски являются наиболее значимыми с точки зрения потенциальных потерь:

```
risks_df['Expected Cost'] = risks_df['Probability'] * risks_df['Impact']
```

Теперь добавим стоимость мер по снижению риска для каждого из них. Это может включать

страхование, дополнительные контракты на поставки и прочие меры предосторожности.

```
# Примеры стоимостей мер по снижению риска
risk_mitigation_costs = [500000, 200000, 300000] # Для каждого риска
risks_df['Mitigation Cost'] = risk_mitigation_costs
```

Далее необходимо определить ожидаемую стоимость риска с затратами на его снижение, чтобы определить, оправданы ли затраты.

```
risks_df['Cost-Benefit'] = risks_df['Expected Cost'] - risks_df['Mitigation Cost']
```

Далее осуществляем вывод итоговых данных для анализа и принятия решений:

```
print(risks_df)
```

Можно также визуализировать эти данные, чтобы лучше понять распределение рисков.

```
import matplotlib.pyplot as plt
risks_df.plot(kind='bar', x='Risk', y=['Expected Cost', 'Mitigation Cost'], stacked=True)
plt.title('Risk Analysis for Metro Construction')
```

Таблица 6. Результаты оценки предложенной модели

Критерий оценки	Детали	Возможные улучшения
Точность прогнозов	Модель успешно предсказала задержки в 85% случаев на основе исторических данных	Дополнительная настройка параметров модели для повышения точности
Устойчивость	Модель демонстрирует консистентные результаты даже при значительных изменениях входных данных	Регулярное обновление данных для поддержания актуальности модели
Пользовательский опыт	Пользователи отметили удобство использования, но выразили желание улучшения пользовательского интерфейса	Разработка более интуитивно понятного интерфейса с улучшенными возможностями настройки
Стоимость VS. выгода	Анализ показал, что модель может помочь снизить финансовые потери на 20% по сравнению с традиционными методами	Проведение дополнительных исследований для оптимизации затрат на поддержку модели
Визуализации	Визуализации эффективно помогают в интерпретации данных и поддержке принятия решений	Интеграция с другими системами управления данными для расширения функциональности

```
Project')
plt.ylabel('Cost')
plt.show()
```

Этот код создаст столбчатую диаграмму, показывающую ожидаемую стоимость и стоимость мер по снижению риска для каждого риска.

Результаты оценки предложенной модели представлены в таблице 6.

Таким образом, Python со своим богатым арсеналом специализированных библиотек, включая Pandas для обработки данных, Scikit-learn для машинного обучения и Matplotlib для визуализации, представляет собой оптимальный инструмент для анализа и оптимизации распределения ресурсов в метростроительстве. Этот язык обеспечивает удобство разработки и тестирования сложных алгоритмов, ускоряя процесс инноваций, при этом его масштабируемость и возможность интеграции с другими платформами делают его незаменимым в управлении крупными проектами. Поддержка мощных аналитических инструментов в сочетании с простотой использования и обширным сообществом пользователей делает Python ключевым ресурсом для эффективного планирования и оптимизации в метростроительстве.

### Выводы

Цели оптимального распределения ресурсов в метростроительных организациях включают повышение эффективности выполнения работ, сокращение времени проекта и минимизацию затрат, достигаемых через задачи определения критических операций и применение методов математического моделирования и сетевых графиков. Программные продукты, предназначенные для

управления метростроительными проектами в организациях, обеспечивают комплексный контроль за планированием, ресурсами и выполнением работ, способствуя эффективной координации и успешной реализации проектных задач.

Основные методы оптимизации процесса распределения ресурсов в метростроительных организациях включают математическое моделирование, анализ критических операций, применение сетевых графиков, а также использование современных программных продуктов для управления проектами, обеспечивающих точное планирование и эффективное использование ресурсов в ходе выполнения работ.

Python с его разнообразными специализированными библиотеками, такими как Pandas для обработки данных, Scikit-learn для машинного обучения и Matplotlib для визуализации, представляет собой неотъемлемый инструмент для анализа и оптимизации распределения ресурсов в метростроительстве.

### Литература

1. Агаханова К.А. Управление стоимостью проектов в условиях использования BIM // Наука и бизнес: пути развития. 2022. № 7 (133). С. 10–13.
2. Баркалов С.А., Курочка П.Н. Формирование управленческого решения на основе построения комплексных оценок // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2017. № 6. С. 30–36.
3. Баркалов С.А., Глушков А.Ю., Моисеев С.И. Динамическая модель разработки и реализации проекта под влиянием внешних факторов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: компьютерные техноло-

- гии, управление, радиоэлектроника. 2020. Т. 20, № 3. С. 76–84. DOI: 10.14529/ctcr200308
4. Гладкова Ю.В., Гладков В.П. Этапы принятия управленческих решений // Вестник Пермского государственного технического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2010. № 4. С. 39–44.
  5. Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства / Гевара Рада Л.Т. [и др.] // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12, № 1 (40). С. 70–81. DOI: 10.21285/2227-2917-2022-1-70-81
  6. Кирилова А.С., Карабейникова А.В., Софронова С.Н. Оценка надежности календарного планирования строительства инженерных сетей на основе метода критической цепи и метода критического пути // Молодой ученый. 2016. № 28 (132). С. 98–102.
  7. Колпачев В.Н., Семенов П.И., Михин П.В. Оптимизация календарного плана при ограниченных ресурсах // Известия Тульского государственного университета. 2004. № 7. С. 154–164.
  8. Маликов Д.З. Этапы разработки управленческих решений // Вестник науки. 2020. Т. 4, № 5 (26). С. 116–120.
  9. Кирилова А.С., Морозова Т.Ф., Косилов И.А. Оценка организационно технологической надежности моделей выполнения монолитных работ на типовом этаже // Региональные аспекты развития науки и образования архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Научные чтения памяти профессора В.Б. Федосенко: материалы международной научно-практической конференции. Комсомольск-на-Амуре: КНАГТУ, 2015. С. 159–165.
  10. Оптимизация строительства: 4 стратегии реализации. URL: <https://bijsk.lcbit.ru/blog/optimizatsiya-stroitelstva-4-strategii-realizatsii/> (дата обращения: 13.07.2023).
  11. Осипов К.Ю. Оптимизационные методы планирования в строительстве // Молодой ученый. 2018. № 6 (192). С. 46–48.
  12. Свеженцев А.Г. Организационно-экономическое обеспечение развития атомной промышленности: дис. ... канд. экон. наук. Нижний Новгород, 2012. 175 с.
  13. Au S.K., Ching J., Beck J.L. Application of subset simulation method to reliability benchmark problems // Structural Safety. 2007. No. 29 (3). P. 183–193. DOI: 10.1016/j.strusafe.2006.07.008
  14. Mowade K., Shelar K. Lean construction // International Journal of Scientific Engineering and Science. 2017. Vol. 1, no. 11. P. 70–74.
  15. Rowinski L. Organizacia Procesow Budowlanych: Monograph. Warszawa: PWN, 1979. 520 p.

*Получено 08.11.2023*

**Собин Артем Евгеньевич**, аспирант кафедры информационных систем и технологий Московского финансово-юридического университета. 115191, Российская Федерация, г. Москва, ул. Серпуховский вал, 17, корп. 1. Тел. +7 977 787-88-32. E-mail: view7goog757@gmail.com

## SOFTWARE OPTIMIZATION OF RESOURCE ALLOCATION PROCESS IN METRO CONSTRUCTION ORGANIZATIONS: ANALYSIS OF EFFICIENCY OF EXISTING METHODS

*Sobin A.E.*

*Moscow University of Finance and Law, Moscow, Russian Federation*

*E-mail: view7goog757@gmail.com*

This article explores the objectives of optimal resource allocation in metro construction organizations, including improving work efficiency, reducing project duration, and minimizing costs. The primary optimization methods, such as mathematical modeling, critical path analysis, and the use of network graphs, are discussed in the context of achieving these goals. The role of project management software in providing comprehensive control over planning, resources, and execution is emphasized. Additionally, the article underscores the significance of utilizing the Python programming language and its libraries, such as Pandas, Scikit-learn, and Matplotlib, in analyzing and optimizing resource allocation in metro construction. The paper contains a case study of a software implementation of risk analysis of delivery delays in metro construction using the Python programming language and its key libraries. Pandas for data processing and analysis, NumPy for performing complex mathematical calculations, and Matplotlib for visualizing the results were used.



**Keywords:** resources, optimization, optimization methods, metro construction companies, efficiency, costs

**DOI:** 10.18469/ikt.2023.21.3.09

**Sobin Artem Evgenyevich**, Moscow Finance and Law University, 17/1, Serpukhovskiy Val Street, Moscow, Russian Federation; PhD Student of Information Systems and Technologies Department, Tel. +7 977 787-88-32. E-mail: view7goog757@gmail.com

## References

1. Agahanova K.A. Using BIM technologies for project cost management. *Nauka i biznes: puti razvitiya*, 2022, no. 7 (133), pp. 10–13. (In Russ.)
2. Barkalov S.A., Kurochka P.N. Formation of a managerial decision on the basis of the construction of complex estimates. *FES: Finansy. Ekonomika. Strategiya*, 2017, no. 6, pp. 30–36. (In Russ.)
3. Barkalov S.A., Glushkov A.Ju., Moiseev S.I. Dynamic model of development and implementation of the project under the influence of external factors. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Kompyuternye Tekhnologii, Upravlenie, Radioelektronika*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 76–84. DOI: 10.14529/ctcr200308 (In Russ.)
4. Gladkova Ju.V., Gladkov V.P. Stages of management decision-making. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Jelektrotehnika, informacionnye tehnologii, sistemy upravleniya*, 2010, no. 4, pp. 39–44. (In Russ.)
5. Gevara Rada L.T. et al. Building information modelling (BIM) technology as a basis for lean construction. *Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitelstvo. Nedvizhimost*, 2022, vol. 12, no. 1 (40), pp. 70–81. DOI: 10.21285/2227-2917-2022-1-70-81 (In Russ.)
6. Kirilova A.S., Karabejnikova A.V., Sofroneeva S.N. Reliability assessment of engineering networks construction scheduling based on the critical chain method and critical path method. *Molodoj uchenyj*, 2016, no. 28 (132), pp. 98–102. (In Russ.)
7. Kolpachev V.N., Semenov P.I., Mihin P.V. Optimization of the schedule plan at the limited resources. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 2004, no. 7, pp. 154–164. (In Russ.)
8. Malikov D.Z. Stages of development of management decisions. *Vestnik nauki*, 2020, vol. 4, no. 5 (26), pp. 116–120. (In Russ.)
9. Morozova T.F., Kosilov I.A., Kirilova A.S. Valuation of organizational and technological reliability of models of monolithic work execution on a typical floor. *Regional'nye aspekty razvitiya nauki i obrazovaniya arhitektury, stroitel'stva, zemleustrojstva i kadaastrov v nachale III tysyacheletiya. Nauchnye chteniya pamyati professora V.B. Fedosenko: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Komsomol'sk-na-Amure: KnAGTU, 2015, 160 p. (In Russ.)
10. Optimizing Construction: 4 implementation strategies. URL: <https://bijsk.lcbit.ru/blog/optimizatsiya-stroitelstva-4-strategii-realizatsii/> (accessed: 13.07.2023). (In Russ.)
11. Osipov K.Ju. Optimization methods of planning in construction. *Molodoj uchenyj*, 2018, no. 6 (192), pp. 46–48. (In Russ.)
12. Svezhencev A.G. Organizational and economic support of the nuclear industry development: diss. ... cand. econ. sciences. Nizhnij Novgorod, 2012, 175 p. (In Russ.)
13. Au S.K., Ching J., Beck J.L. Application of subset simulation method to reliability benchmark problems. *Structural safety*, 2007, no. 29 (3), pp. 183–193. DOI: 10.1016/j.strusafe.2006.07.008
14. Mowade K., Shelar K. Lean construction. *International Journal of Scientific Engineering and Science*, 2017, vol. 1, no. 11, pp. 70–74.
15. Rowinski L. *Organizacja Procesow Budowlanych: Monograph*. Warszawa: PWN, 1979, 520 p.

Received 08.11.2023