

**Трач Р. В., к.е.н.** (Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛІННЯ**

**В статті проаналізовано розвиток теорії та методології поняття «оптимальності», класифіковано наявні методи оптимізації за напрямком завдань, що вирішуються та за критерієм наявності у методі стохастичності. Описано деякі з стохастичних методів оптимізації (алгоритм імітації відпалу, метод рою часток, алгоритм колонії мурах, генетичний алгоритм) придатних для вирішення задач з оптимізації організаційної структури проекту.**

**Ключові слова:** управління проектом, методи оптимізації, мережеве планування і управління, організаційна структура проекту.

**Постановка задачі.** Поняття оптимальності отримало точне представлення в різних математичних теоріях, міцно увійшло в практику планування і управління різними системами. Оптимізація полягає в тому, щоб серед множини об'єктів (можливих рішень, сценаріїв, варіантів) знайти найкращі в заданих умовах, при заданих обмеженнях, тобто оптимальні альтернативи. При цьому дуже важливим є врахування наявних умов і обмежень, оскільки їх зміна може привести до того, що при одному і тому ж критерії найкращими виявляться різні варіанти.

Рішення задач оптимізації давно цікавили людство. Розподіл ресурсів, планування робіт, організація руху та багато інших проблем були актуальні протягом всієї історії, але математичні моделі для їх формального опису та методи вирішення виникли відносно недавно. Перші оптимізаційні задачі були сформульовані ще в XVIII столітті як математичні курйози. В кінці XIX століття були зроблені спроби застосувати математичний апарат в економіці та соціології. До них можна віднести роботи італійського науковця В. Парето. Поняття «множина Парето» і «оптимальність по Парето» широко використовуються в сучасній теорії оптимізації.

У період з XVII до середини XX століть завдяки наявності теоретико-методологічних досліджень в області математичного аналізу (теореми про екстремуми і умовний екстремум) вчені отримали інструменти, які дозволяли формалізувати багато досліджень в області



оптимізації економічних процесів і процесів виробництва. Значне прискорення в розвитку прикладних наукових досліджень відбулося під час Другою світовою війни. Саме тоді і з'явився термін «дослідження операції», який був запропонований військовими при застосуванні математичних моделей і методів для дослідження військових операцій. Історично першим досвідом успішної взаємодії вчених з військовими вважається розгортання системи протиповітряної оборони Великобританії в 1938-1941 рр. з використанням новітньої радіолокаційної техніки. Пізніше британський досвід залучення вчених до розробки військових операцій перейняли і США.

В області оптимізації ХХ століття стало дуже плідним періодом. Цей час тісно пов'язаний з іменами Д. Неймана, Л. Канторовича, Д. Данцига – основоположниками лінійного програмування, Р. Беллмана – динамічного програмування; Б. Егерварі, А. Колмогорова, К. Шеннона та інших. В середині ХХ століття завдяки винаходу ЕОМ знизилася витрати на обчислення і кардинально змінилися процеси, пов'язані з накопиченням і обробкою результатів емпіричних досліджень. Рішення задачі лінійного програмування, дозволило використовувати наймодніші засоби економічного аналізу (дослідження операцій і теорію оптимального управління) на державних і приватних підприємствах [1].

**Метою статті є** дослідження методів оптимізації в цілому та деяких стохастичних методів (алгоритм імітації відпалу, метод рою часток, алгоритм колонії мурах, генетичний алгоритм) придатних для вирішення задач з оптимізації організаційної структури проекту.

**Виклад основного матеріалу.** У математичному сенсі суть оптимізації полягає в наступному. Нехай стан системи, що моделюється визначається сукупністю показників:  $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ , що приймають числові значення. На безліч можливих станів системи накладено обмеження:  $x \in X$ , де безліч  $X$  визначається існуючими фізичними, технологічними, логічними, ресурсними та іншими обмеженнями. Далі вводиться функція  $F(x)$ , що залежить від  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , яка називається критерієм ефективності і приймає числове значення. Вважається, що чим більші значення приймає функція  $F(x)$ , тим вище ефективність, тобто, тим «краще» стан системи  $x$ . Задача оптимізації полягає в знаходженні оптимального стану  $x^*$ , тобто допустимого стану системи, що має максимальну ефективність: для всіх  $x$  з множини  $X$  виконується  $F(x^*) \geq F(x)$ .

Мовою оптимізації може бути сформульована будь-яка цілеспрямована діяльність (мінімізація відхилення від мети при заданих обмеженнях) і відповідні їй моделі управління.

Часте вживання поняття оптимізація, породило безліч різних видів оптимізації та їх класифікацій. Одним з найважливіших ознак класифікації оптимізації є наявність в методі стохастичності. За цією ознакою методи поділяють на детерміністичні та стохастичні.

За напрямком завдань, що вирішуються можна виділити наступні оптимізаційні задачі:

1. Задачі призначення (впорядкування) – їх різновидом можуть бути задачі мережевого планування і управління (МПУ), коли необхідно задіяти, працівників підприємства так, щоб мінімізувати загальний час виконання робіт.

2. Задача відшукування найкоротшого шляху – задача пошуку оптимального шляху згідно заданого критерію. Задача пов'язана з необхідністю відшукування оптимальної послідовності операцій, що призведе до вирішення комбінаторної задачі.

3. Задача комівояжера (задача вибору маршруту). На відміну від задачі пошуку найкоротшого шляху, тут необхідно обійти всі вершини даного графа оптимальним чином за критерієм тривалості шляху і/або вартості витрат на дорогу та ін.

4. Задачі відшукування максимального потоку - включає в себе задачу масового обслуговування, коли необхідно знайти оптимальну кількість терміналів для обслуговування клієнтів в даний момент часу, щоб забезпечити максимальний потік клієнтів і відсутність простою терміналів.

5. Транспортні задачі – також відомі як задачі планування перевезень.

Щодо завдань, які належать до компетенції проектного менеджменту, то безперечно найбільш популярною є оптимізаційна задача *мережевого планування і управління (МПУ)*.

До початку ХХ століття важливість задач планування і управління була невисокою, але почала стрімко зростати з появою поточного конвеєрного виробництва. У розвиток методів планування і управління суттєвий внесок був зроблений Г. Фордом, який запропонував розбивати роботи на невеликі впорядковані операції, і Г. Гантом, який працював над підвищенням ефективності управління на промислових підприємствах. При розробці детального графіка реалізації спроектованої системи зручно використовувати так звану діаграму Ганта – горизонтальну лінійну діаграму, на якій задача реалізації си-



стеми представлені у формі часових відрізків, що характеризуються календарними датами початку і закінчення виконання робіт із зазначенням взаємозв'язку між роботами та необхідними для їх виконання ресурсами. Шаблон найпростішої діаграми Ганта показано на рис. 1.

	13.05.2019	14.05.2019	15.05.2019	16.05.2019	17.05.2019	20.05.2019	21.05.2019	22.05.2019	23.05.2019	24.05.2019
Робота 1	■									
Робота 2		■	■	■						
Робота 3				■	■	■				
Робота 4						■	■			
Робота 5								■	■	
Робота 6										■
Робота 7									■	■
Робота 8										■
Робота 9										■
Робота 10										■

Рис. 1. Шаблон діаграми Ганта

Задачі МПУ передбачають планування в часі, тобто систему рекомендацій, що саме і в які моменти часу необхідно робити. Такі вказівки в загальному випадку називаються розкладом. Для однієї і тієї ж ситуації може бути складено безліч різних розкладів. Очевидно, що розклади відрізняються один від одного за багатьма показниками, тому виникає задача формування критеріїв оцінки розкладів і вибору розкладу, який максимально відповідатиме цим критеріям. Задача МПУ характеризується метою, моделлю об'єкта управління, набором вимог (робіт), які необхідно виконати для досягнення мети, критеріями оцінки. Ключовими поняттями в теорії розкладів є « робота » і « ресурс ». Роботи перебувають між собою в різних взаємозв'язках, найважливішим з яких є черговість виконання. У задачах МПУ крім відносин між роботами використовуються й інші різноманітні обмеження: кінцеві терміни виконання окремих робіт і сукупностей робіт, обмеження по ресурсах, терміни, раніше яких не можна починати певні роботи, обмеження, пов'язані з об'єктом управління.

Визначивши типи робіт, необхідні ресурси для кожної з них, відносини між роботами, наявність ресурсів, обмеження і побудувавши модель виконання робіт з використанням ресурсів, можна за допомогою деякого алгоритму скласти допустимий розклад або довести, що складання розкладу для зазначених умов неможливе. Змістовно задачі МПУ є оптимізаційними, тобто полягають у виборі серед безлічі допустимих варіантів (розкладів, що допускаються умовами задача) тих, які забезпечували б досягнення найкращого (оптимального) значення критерію. Під оптимальністю розуміється час виконання проекту, витрати ресурсів, прибуток та інші показники.

Методи оптимізації, які знайшли своє застосування для вирішення задач МПУ показані на рис. 2.

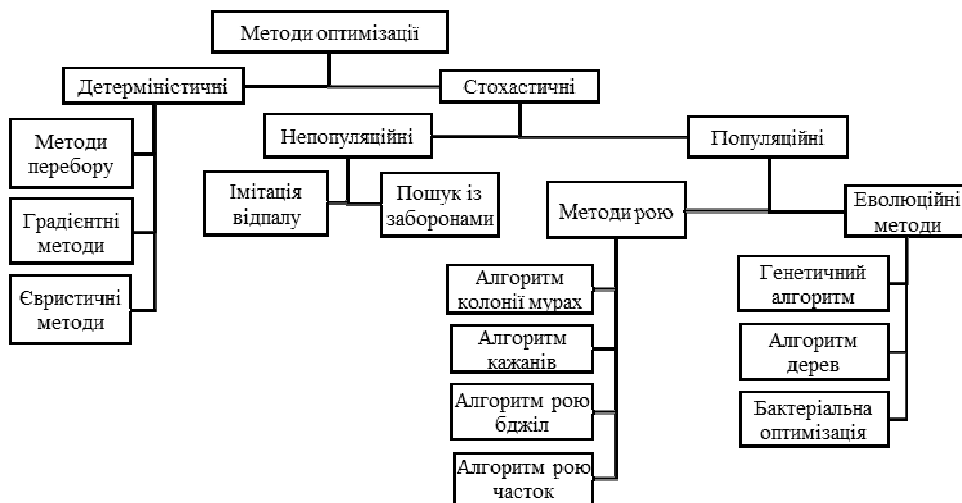


Рис. 2. Класифікація методів оптимізації, що застосовують для вирішенню задач МПУ

Найбільш простим методом вирішення задач МПУ є повний перебір, але, задачу з десятками критеріїв методом повного перебору за прийнятний час вирішити неможливо. Обсяг розрахунків можна скоротити, використовуючи методи спрямованого перебору. Також може застосовуватися метод гілок і меж. Кожному вузлу дерева пошуку, тобто підмножині допустимих часткових планів, зіставляється оцінка величини критерію. Мінімальна оцінка для термінальних вузлів приймається в якості нижньої межі оптимального плану. Оцінка нижньої межі необхідна, щоб відкинути підмножини частково побудованих планів, які не містять оптимальних рішень задачі, що автоматично зменшує обсяг пошукового простору. Перевагами методу є універсальність, гарантоване отримання найкращого рішення, висока швидкість роботи для задач малої і середньої розмірності. Застосування методу гілок і меж в задачах МПУ ускладнено через високу розмірність і значні витрати часу.

Застосування gradientних методів в задачах МПУ також ускладнено, так як задача не є диференційованою і має безліч локальних екстремумів. Отже, задачі МПУ мають властивості, які критично знижують ефективність gradientних методів, навіть з використанням повернень після потрапляння в локальні екстремуми і неможливості аналітично визначити похідну критерію оптимальності.



Евристичні методи засновані на виборі на кожному кроці наступного етапу, виконання якого завершиться якомога раніше і розстановки пріоритетів в залежності від різних факторів. Евристики можуть давати велике відхилення від оптимуму і для підвищення ефективності необхідно доповнювати їх трудомісткою процедурою локального пошуку.

Останнім часом для вирішення задач МПУ часто і успішно застосовуються популяційні і непопуляційні стохастичні методи. Недоліком непопуляційних методів (пошук із заборонами, імітація відпалу) вважається необхідність ретельного їх налаштування і адаптації. Знайшли своє застосування в задачах оптимізації МПУ і еволюційні методи, особливо генетичний алгоритм [2]. Перевагою алгоритму є простота реалізації, до недоліків відносяться невисока ефективність на задачах, які мають складну топологію простору рішень і високу розмірність. Крім того, мінусом методу є необхідність багаторазових обчислень критерію для низько ефективних рішень, і часто надто довгий час виконання алгоритму, так як «операції перетину і мутації зазвичай не використовують структури даних, специфічних для даної задачі, внаслідок чого більшість переходів дає низькоякісні рішення і процес пошуку найкращого рішення протікає повільно» [3].

Останнім часом, окрім задач, пов'язаних із календарно-мережевим плануванням і управлінням в проектах на перший план виходять і проблеми управління організаційною структурою проекту [4; 5]. Успішне управління проектом дуже часто залежить від ефективності зв'язків між членами команди проекту. Менеджери проектів відчують потребу в ідентифікації, оцінці, контролі, а досить часто і оптимізації зв'язків та організаційної структури проекту. Наведемо короткий опис деяких методів стохастичних оптимізації, придатних для вирішення задачі з оптимізації організаційної структури проекту.

1. Алгоритм імітації відпалу (*англ. Simulated annealing*). Метод був розроблений групою вчених в середині 1980-х років [6]. Метод імітації відпалу заснований на спостереженнях за процесом утворення речовиною кристалічної решітки при охолодженні. В ході цього процесу температура речовини знижується, при цьому сповільнюється швидкість хаотичного руху часток речовини. Алгоритм імітації відпалу моделює цей процес. У ролі часток виступають змінні, від яких залежить значення функції, що оптимізується, яке в свою чергу визначає енергію часток. Необхідно задати закон, за яким буде змінюватися температура речовини, закон, за яким буде випадковим

чином змінюватися значення координат в просторі рішення, і правило для визначення переходу частки в точку з новими координатами.

2. Метод рою часток (*англ. Particle Swarm Optimization*). У 1995 році Д. Кеннеді і Р. Еберхарт запропонували модель імітації поведінки біологічних систем, таких як зграя птахів. Потім було помічено, що модель може бути використана для оптимізації безперервних нелінійних функцій [7]. Суть методу полягає в існуванні рою часток, кожна з яких в поточний момент характеризується набором координат в просторі рішення, вектором швидкостей по кожній координатній осі і координатами кращої точки, в якій ця частка була. Крім того, в пам'яті зберігається і найкраще для всіх часток рішення. Кожна частка змінює напрямок, наближаючись як до кращого локального, так і до кращого глобального рішення, при цьому частка має інерцію і у визначенні вектора швидкості присутній елемент випадковості. Орієнтація часток на найкраще глобальне рішення імітує обмін інформацією в рої і залучення часток до більш перспективних рішень, а випадковість в русі, інерція і пам'ять про кращі локальні рішення дозволяють часткам шукати нові рішення, щоб алгоритм не «застрягав» в локальних екстремумах.

3. Алгоритм колонії мурах (*англ. Ant Colony Optimization*). Алгоритм заснований на моделі, що імітує процес пошуку мурахами найкоротших шляхів від мурашника до джерел їжі, і розроблений М. Доріго [8]. Мурахи вирішують задачу пошуку шляхів за допомогою хімічної регуляції. Кожна мураха залишає за собою на землі доріжку особливих речовин - феромонів. Інший мураха, відчувши слід на землі, рухається по ньому. Чим більше по одному шляху пройшло мурах, тим помітніше для них слід, а чим більш помітний слід, тим більше бажання піти в ту ж сторону виникає у інших мурах. Оскільки мурахи, що знайшли найкоротший шлях до джерела їжі, витрачають менше часу на шлях туди і назад, їх слід швидко стає найпомітнішим. Він привертає більшу кількість мурах, таким чином, процес пошуку більш короткого шляху швидко завершується. Решта шляхів, що використовуються рідше, поступово пропадають. Можна сформулювати основні принципи взаємодії мурах: випадковість, багаторазовість, позитивний зворотний зв'язок. Ітераційний алгоритм включає в себе побудову рішення всіма мурахами, поліпшення рішення методом локального пошуку, оновлення феромону. Побудова рішення починається з порожнього часткового рішення, яке розширюється шляхом додавання до нього нової допустимої компоненти рішення. На відміну від алгоритму рою часток, який описується як алгоритм для зна-



ходження екстремумів безперервних функцій, мурашиний алгоритм в класичному формулюванні вирішує комбінаторні задачі, наприклад, задачу комівояжера.

4. Генетичний алгоритм (англ. *Genetic Algorithm*). Визнання генетичного алгоритму як методу вирішення оптимізаційних задач відбулося після 1975 року, як результат робіт Д. Холланда [9]. Метод заснований на принципі природного відбору та імітує еволюцію в живій природі. У природі більш пристосовані особи виживають і дають потомство, при цьому їх гени передаються в наступні покоління. Для використання генетичного алгоритму в оптимізації необхідно представити задачу таким чином, щоб її рішення можна було записати у вигляді генотипу, тобто вектор значень (генів). У генетичному алгоритмі відбувається подібний природному відбір рішень оптимізаційної задачі, при цьому рішення оцінюються, вибираються, обмінюються один з одним частинами і можуть випадковим чином змінюватися (аналог мутації в природі).

**Висновки.** Рішення задач оптимізації давно цікавили людство. Розподіл ресурсів, планування робіт, організація руху та багато інших проблем були актуальні протягом всієї історії, але математичні моделі для їх формального опису та методи вирішення виникли відносно недавно. Оптимізація полягає в тому, щоб серед множини об'єктів можливих рішень знайти найкращі в заданих умовах, при заданих обмеженнях, тобто оптимальні альтернативи. Останнім часом, окрім задач, пов'язаних із календарно-мережевим плануванням і управлінням в проектах на перший план виходять і проблеми управління організаційною структурою проекту. Успішне управління проектом дуже часто залежить від ефективності зв'язків між членами команди проекту. Менеджери проектів відчувають потребу в ідентифікації, оцінці, контролі, а досить часто і оптимізації зв'язків та організаційної структури проекту. В статті наведено класифікацію методів оптимізації за критерієм наявності в них стохастичності та описано деякі з стохастичних методів оптимізації (алгоритм імітації відпалу, метод рою часток, алгоритм колонії мурах, генетичний алгоритм) придатних для вирішення задачі з оптимізації організаційної структури проекту.

1. P. A. Samuelson. Market Mechanisms and Maximization. Part III. Rand Corporation, June 29, 1949. 2. M. Harrabi, O. B. Driss, K. Ghedira. Combining genetic algorithm and tabu search metaheuristic for job shop scheduling problem with generic time lags. *International Conference on Engineering & MIS*. Tunisia, 2017, P. 1–8. 3. С. Скиена. Алгоритмы. Руководство по разработке /



пер. с англ. 2-е изд. СПб. : БХВ-Петербург, 2013. 720 с. **4.** S. D. Pryke. Social network analysis. In: A. Knight and L. Ruddock (eds) *Advanced Research Methods in the Built Environment*. Blackwell, Oxford, 2008. **5.** S. D. Pryke. Networks of relationships in property development supply chains: transitional project governance configurations. *Proceedings of Futures in Property and Facilities Management Conference*, UCL, April, 2004. **6.** D. Bertsimas, J. Tsitsikis. *Simulated Annealing. Statistical Science*. 1993. Vol. 8, no 1. p. 10–15. URL: <http://stuff.mit.edu/~dbertsim/papers/Optimization/Simulated%20annealing.pdf>. (дата звернення 26.03.2019). **7.** J. Kennedy, C. Eberhart. Particle swarm optimization. In *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*. IEEE Service Center. Perth, 1995. p. 1942–1948. **8.** M. Dorigo, M. Birattari, T. Stutzle. Ant Colony Optimization. *Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique*, IRIDIA. *Technical Report Series*. Technical Report, Brussels, Belgium, 2006. 14 p. **9.** J. H. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis With Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. The MIT Press, Cambridge, 1992.

## REFERENCES:

**1.** P. A. Samuelson. Market Mechanisms and Maximization. Part III. Rand Corporation, June 29, 1949. **2.** M. Harrabi, O. B. Driss, K. Ghedira. Combining genetic algorithm and tabu search metaheuristic for job shop scheduling problem with generic time lags. *International Conference on Engineering & MIS*. Tunisia, 2017, P. 1–8. **3.** C. Skiena. *Alhoritmy. Rukovodstvo po razrobotke / per. s anhl. 2-e izd. SPb. : BKhV-Peterburh, 2013. 720 s.* **4.** S. D. Pryke. Social network analysis. In: A. Knight and L. Ruddock (eds) *Advanced Research Methods in the Built Environment*. Blackwell, Oxford, 2008. **5.** S. D. Pryke. Networks of relationships in property development supply chains: transitional project governance configurations. *Proceedings of Futures in Property and Facilities Management Conference*, UCL, April, 2004. **6.** D. Bertsimas, J. Tsitsikis. *Simulated Annealing. Statistical Science*. 1993. Vol. 8, no 1. p. 10–15. URL: <http://stuff.mit.edu/~dbertsim/papers/Optimization/Simulated%20annealing.pdf>. (data zvernennia 26.03.2019). **7.** J. Kennedy, C. Eberhart. Particle swarm optimization. In *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*. IEEE Service Center. Perth, 1995. p. 1942–1948. **8.** M. Dorigo, M. Birattari, T. Stutzle. Ant Colony Optimization. *Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique*, IRIDIA. *Technical Report Series*. Technical Report, Brussels, Belgium, 2006. 14 p. **9.** J. H. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis With Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. The MIT Press, Cambridge, 1992.

Рецензент: к.т.н., доцент Подворний А. В. (НУБГП)



**Trach R. V., Candidate of Economics (Ph.D.)** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **APPLICATION OF OPTIMIZATION METHODS FOR SOLVING PROJECT MANAGEMENT TASKS**

**Companies have to look permanently for new strategies and tools to improve processes, decrease cost and increase productivity and efficiency. Projects are one of the basic means by which a company achieves its competitive advantage and successful business operations. Among all success criteria, factors and frameworks, quality, costs and time remain the most important ones. They are also interdependent, especially in the field of project scheduling, which is our major research field. Modern construction projects, especially large ones, require a wide range of participants. Taking into account the large number of project participants, it becomes very important to optimize the cooperation between them. Recent researchers found that very often increasing of participants of construction project increases the cost and duration of construction. Integrated Project Delivery use and the formation of the network organization structure can significantly save costs, as the activities of the participants become more coherent and coordinated; it also allows reducing time for planning, construction and coordination. As a result, the impact of costs and time factors on all (or most) participants of the network reduce, which are the basic criteria for increasing the value of the project. The optimality of decisions essentially depends on the efficiency of the negotiation process, which in turn depends on the organizational structure of investment and construction industry. Much research has been done on project success and performance. Although metrics and checklists have merit, each project is unique and thus distinct approaches are needed to optimize complex projects' performance.**

**The article analyzes the development theory and methodology concept of "optimality". The classification available optimization methods was carried out according to direction of the tasks being solved and according to the criterion presence in method stochasticity. Some stochastic optimization methods are described (Simulated annealing, Particle Swarm Optimization, Ant Colony Optimization, Genetic Algorithm), which are used to solve problems in optimizing project organizational structure.**

**Keywords: project management, optimization methods, network planning and management, project organizational structure.**

---

**Трач Р. В., к.э.н.** (Национального университета водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**В статье проанализировано развитие теории и методологии понятия «оптимальности». Проведена классификация имеющихся методов оптимизации по направлению решаемых задач и по критерию наличия в методе стохастичности. Описаны некоторые из стохастических методов оптимизации (алгоритм имитации отжига, метод роя частиц, алгоритм колонии муравьев, генетический алгоритм), которые используются для решения задач по оптимизации организационной структуры проекта.**

**Ключевые слова:** управление проектом, методы оптимизации, сетевое планирование и управление, организационная структура проекта.

---