

Научная статья

Original article

УДК 656.8:004.738.5:519.853:330.342

doi: 10.55186/2413046X\_2023\_8\_11\_591

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ  
ГРАФОВ  
OPTIMIZATION OF LOGISTICS NETWORKS BASED ON GRAPH  
THEORY**



**Алейник Даниил Валерьевич**, Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия, [52003daniil@gmail.com](mailto:52003daniil@gmail.com)

**Коломиец Вадим Николаевич**, Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия, [vadimkakolomietss@gmail.com](mailto:vadimkakolomietss@gmail.com)

**Косникова Оксана Владимировна**, старший преподаватель кафедры экономической кибернетики, Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия, [oksana\\_1209@mail.ru](mailto:oksana_1209@mail.ru)

**Aleynik Daniil Valerievich**, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia, [52003daniil@gmail.com](mailto:52003daniil@gmail.com)

**Kolomiets Vadim Nikolaevich**, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia, [vadimkakolomietss@gmail.com](mailto:vadimkakolomietss@gmail.com)

**Kosnikova Oksana Vladimirovna**, senior lecturer of the Department of Economic Cybernetics, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia, [oksana\\_1209@mail.ru](mailto:oksana_1209@mail.ru)

**Аннотация.** Статья посвящена тому, как события последних лет серьёзно повлияли на сегодняшнюю экономику, в частности производственные предприятия. Существует необходимость принять в России серьёзные меры для стабилизации экономической ситуации. Ведущую роль мы видим

в оптимизации логистических сетей, которые сейчас играют серьезную роль и становятся с годами всё сложнее. Вызвано это прежде всего технологическим прогрессом. Появляются новые трудности, с которыми сейчас сталкиваемся. Но они могут сподвигнуть к поиску новых решений в области логистики. Государства изучают свои стратегии и обращаются к компаниям, требуя от них принять нужные меры по оптимизации логистических сетей, чтобы избежать перебоев недостатка поставок товаров. В статье освещена проблема реализации логистических сетей, с которой столкнулись датские учёные. Они, в одной из своих статей о применении теории к реальным логистическим задачам умного города, в качестве примера берут теорию графа, позволяющую решать популярные задачи. В данной статье подробно изложена структура графа, так называемые кратчайшие пути, рассмотрена история появления графа, задача, связанная с Кенигсбергскими мостами. Также мы рассмотрели один из мощных инструментов, предоставляющих решения для сложных задач оптимизации в логистике, а именно муравьиный алгоритм. Итогом наших обсуждений станет анализ перспектив использования искусственного интеллекта в логистике. Заключением данной статьи станет оценка возможностей графовой структуры оптимизация логистических сетей.

**Abstract.** The article is dedicated to exploring how recent events have significantly impacted today's economy, particularly manufacturing enterprises. There is a pressing need for Russia to take serious measures to stabilize the economic situation. We see a leading role in optimizing logistical networks, which play a crucial role and have become increasingly complex over the years, primarily due to technological progress. New challenges arise that we are currently facing, but they can stimulate the search for innovative solutions in the field of logistics. Governments are scrutinizing their strategies and turning to companies, demanding necessary measures to optimize logistical networks and avoid disruptions in the supply of goods. The article addresses the implementation issues of logistical networks faced by Danish scientists. In one

of their articles on applying theory to real logistics problems in a smart city, they use graph theory as an example, providing solutions to popular problems. This article thoroughly discusses the structure of a graph, the concept of shortest paths, the history of the emergence of graphs, and the problem associated with the bridges of Königsberg. Additionally, we explore one powerful tool that offers solutions to complex optimization problems in logistics - the ant colony algorithm. The culmination of our discussions will be an analysis of the prospects of using artificial intelligence in logistics. The conclusion of this article will be an assessment of the potential of graph structures in optimizing logistical networks.

**Ключевые слова:** оптимизация логистических сетей, граф, муравьиные алгоритмы, экономика, транспортная система, моделирование

**Keywords:** optimization of logistical networks, graph, ant colony algorithms, economy, transportation system, modeling

## **Введение**

### *Актуальность*

Пандемия COVID-19, как следствие падение цен на нефть, вызванное сокращением поставок, в частности Китаю, ужесточающиеся санкции от европейских торговых партнеров, растущая инфляция, увеличение расходов на оборонную промышленность все эти факторы крайне негативно повлияли на экономику России в целом, приближая ее к кризису [1]. Также совокупность вышеперечисленных факторов отрицательно повлияло и на отдельно взятые промышленные предприятия, которые в связи с прекращением поставки зарубежных компонентов и сырья заметно ухудшили свою работоспособность. В итоге это привело их к ухудшению качества продукции, снижению их рентабельности, большинство предприятий нашей страны находятся в неустойчивом финансовом положении. Именно поэтому в настоящее время особенно остро встал вопрос о необходимости принятия срочных и эффективных мер для стабилизации экономической ситуации в России [2]. Этот вопрос требует серьезного

внимания и поиска наименее затратных и эффективных решений. В этой сложной ситуации потребность в точных и эффективных методах оптимизации актуальна как никогда.

Наиболее подходящее решение для данного вопроса будет оптимизация логических сетей. Логистические сети, играющие ключевую роль в современной экономике, с каждым годом становятся все сложнее и более важными для эффективного перемещения товаров и услуг от производителей к потребителям. Оптимизация этих сетей является приоритетной задачей для компаний, стремящихся улучшить эффективность своих поставок, минимизировать затраты на транспортировку [3]. Сильные изменения рынок транспортно-логистических услуг претерпел в следствии пандемии COVID-19, логистика была вынуждена адаптироваться к таким неблагоприятным условиям как закрытые границы, отсутствие непосредственной коммуникации между людьми, как следствие нарушение прямой связи между потребителем и производителем [4]. За последние несколько десятилетий логистическая отрасль претерпела значительные изменения, вызванные технологическим прогрессом, изменением потребительских предпочтений и неустанным стремлением к экономической эффективности [5]. Новые задачи требовали новых решений, что дало новый толчок в развитии логистики. В связи со всем вышесказанным можно выразить надежду, что новые трудности, открывшиеся в этом году, сподвигнут нас к поиску новых идей в области логистики, более глубокому анализу уже известных методик.

### **Литературный обзор**

Сегодня многие страны смотрят внутрь себя и пересматривают свои технологии цепочки поставок, в то время как многонациональные агентства перестраивают свои стратегии аутсорсинга для доставки важнейших ресурсов для внутренних операций для снижения рисков внешних сбоях, вызванных мерами карантина. Правительства развитых экономик обратились к компаниям с призывом тщательно изучите методы,

чтобы быть способными обеспечить устойчивость перед лицом судьбы, которая ждет вас сбои в глобальных поставках и затраты предприятия - цепочки. В качестве примера, правительство Франции обязало правительства стран ЕС переосмыслить для важных объектов. Японские власти выделили 2,2 миллиарда на стимулировать японские корпорации, работающие в других азиатских странах, к переезду в Японию. В Соединенных Штатах в Америке был добавлен счет-фактура для оплаты последующие ценностные последствия для предприятий, решивших перенести свое производство база из Китая. Кроме того, Индия изучает методы привлечения производителей из Китай за счет скидки на корпоративные налоги, среди других стимулов. Однако Арадхана Кумари опубликовала статью, в которой подчеркивает, что в последнее время многие страны были вынуждены пересмотреть свои технологии цепочки поставок, что дало мощный толчок в развитии логистики, многонациональные агентства перестраивают свои стратегии аутсорсинга для доставки важнейших ресурсов, для внутренних операций, для снижения рисков внешних сбоях, вызванных мерами, предпринятыми с прошедшим карантином. Руководства развито экономических предприятий обратились с призывом к своим сотрудникам, тщательно изучить методы оптимизации логистических сетей, чтобы быть способными обеспечить своим компаниям устойчивость перед резко возросшими требованиями клиентов к скорости и удобству, прозрачности и надежности доставки товара. В своей работе Арадхана Кумари приводит в качестве примера как правительства отдельных государств, таких как Франция, Япония, Соединенные Штаты Америки, Индия и Китай, которые уже предприняли шаги по улучшению и реформированию уже имеющихся логистических сетей товарно-транспортной системы, так и отдельные коммерческие предприятия и корпорации, которые также в свою очередь стремятся к улучшению своей инфраструктуры, которая отвечала бы современным реалиям и способствовала повышению эффективности компании [6].

С проблемой реализации применения теоретических знаний об оптимизация логистических сетей на практике столкнулись датские ученые. В своей статье «Применение прикладной теории к реальным логистическим задачам умного города» Хосе Гутьеррес, Майкл Дженсен, Тахир Риаз приходят к выводу, что наилучшим решением для перехода от теоретических формулировок к реально применимому решению, когда идеальные методы решения не могут быть применены к реальным задачам и ограниченным ресурсам является использование в качестве референсов решение известных задач теории графов, в ходе своего исследования они представляют дорожную сеть как граф. Используя такой подход, довольно просто решать очень известные задачи оптимизации логистики, такие как расчет минимальной длины маршрута, соединяющего несколько точек, также известной как "Проблема коммивояжера". Характер таких задач оптимизации - комбинаторный, где целью является оптимизация маршрутов, удовлетворяя набору требований и/или ограничений [6].

Одним из мощных инструментов, предоставляющих решения для сложных задач оптимизации в логистике, является муравьиный алгоритм, основанный на принципах природного поведения муравьев [7]. Муравьиные алгоритмы, вдохновленные поведением колоний муравьев при поиске пути к источнику пищи, представляют собой методы решения комбинаторных задач оптимизации. Эти алгоритмы позволяют моделировать процесс принятия решений на основе индивидуальных действий агентов (муравьев) и коммуникации между ними. В своей работе С.Д. Штабова отмечает, что муравьиные алгоритмы хорошо себя показывают в оптимизации сложных комбинаторных задач, таких как уже вышеупомянутая задача коммивояжера, задачами маршрутизации, задачей календарного планирования, оптимизации сетевых графиков и др [8].

**Цель исследования** — изучить оптимизацию логистических сетей и ее использование в теории графов в качестве основополагающей методологии. Рассмотреть ключевые концепции, методологии и приложения, которые

делают теорию графов незаменимыми при обращении к эффективным логистическим операциям. Посредством всестороннего изучения симбиотических отношений между логистическими сетями и теорией графов, что позволит нашему исследованию достичь понимания направления развития современных логистических систем. Целью исследования является рассмотрение как теоретической составляющей, так и практической. Практические примеры успешного применения тех или иных алгоритмов для усовершенствования дорожно-транспортной сети поставок сырья. Благодаря этим поставкам могла значительно повыситься работоспособность и производительность на российских предприятиях, что стало бы успешным примером применения логистики для оптимизации процессов производства. Так же в ходе исследования рассмотрим, как междисциплинарный подход может принести преимущества в развитии отраслям российской промышленности и возможно станет их избавителем от надвигающегося кризиса.

### **Методы и материалы**

В математике и информатике, теория графов представляет собой математическую структуру, используемую для моделирования взаимосвязей между объектами в заданной коллекции. Проще говоря граф представляет собой абстрактную структуру, состоящую из узлов (вершин) и связей (рёбер), которые соединяют узлы. В зависимости от логистической задачи узлы могут представлять практически что угодно. Это могут быть как склады, так и заводы, возможно это будут транспортные узлы. В большинстве задач рёбра могут отображать пути перемещения товаров или ресурсов между ними.

Графы также подразделяются на ориентированные и неориентированные. Ориентированными – это графы с указанием направления на рёбрах, соответственно неориентированными называют рёбра без определенного направления. В логистике ориентированные графы часто используются для моделирования направлений перемещения товаров. Вершины они же узлы графа представляют собой точки в сети, а рёбра

служащие связями определяют пути между ними. Эти элементы отражают в логистике объекты и маршруты перемещения [9].

В структуру графа также входят потоки, они представляют количество товаров, которое перемещается по каждому ребру графа. Оптимизация потоков помогает управлять эффективным распределением ресурсов и товаров в сети. Кратчайшие пути в графах представляют собой оптимальные маршруты для доставки товаров. Алгоритмы нахождения кратчайших путей используются для минимизации времени и затрат на транспортировку. Каждому ребру можно присвоить реальное значение, которое представляет собой весовую функцию. Например, если граф моделирует сеть дорог, то весовая функция будет отображать длину каждой дороги. Граф с такими весами называется взвешенным графом. [10].

Принято считать, что теория графов появилась в 1736 году, ее сформулировал Леонард Эйлер, решая задачу "О кенигсбергских мостах", подробнее о которой мы остановимся ниже, о своем гениальном решении он тут же поспешил сообщить итальянскому математику и инженеру Мариони, написав об своей теории в письме 13 марта 1736 г., чем и закрепил за собой приоритет автора [11].

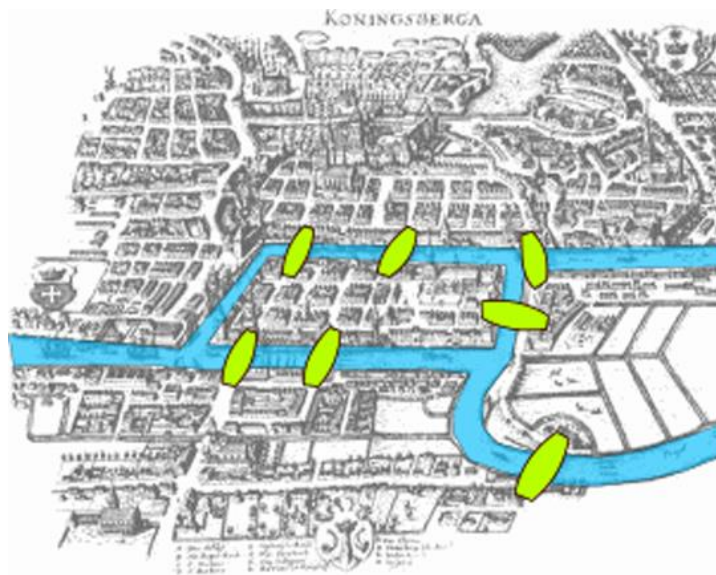


Рис 1. Карта города Кенигсберг на момент 1736 года.

Figure 1. Map of the city of Königsberg at the time of 1736.



В чем же заключалась задача "О кенигсбергских мостах"? Город Кенигсберг (ныне Калининград, Россия) расположен на берегах реки Прегель, на реке расположены два больших острова, и они соединены между собой и остальной частью города семью мостами. Подробнее с картой города можно ознакомиться на (рисунке 1) Проблема, на которую обратил внимание Эйлер в своей работе, заключалась в следующем:

"Возможна ли прогулка по всем семи мостам, соединяющим два острова на реке Прегель с остальной частью города Кенигсберг на прилегающих берегах, прогулка, которая пересекала бы каждый мост ровно один раз и в итоге вернуться в исходное место? "

Эйлер доказал используя теорию графов в своей статье, что нет ни единого способа выполнить такую прогулку. Простая прогулка, которая проходит через каждое соединение ровно один раз, называется прогулкой Эйлера, потому что именно Эйлер решил проблему семи мостов Кенигсберга. На (рисунке 1) мы видим, как выглядел Кенигсберг в то время, четыре части города северная, южная и два острова были соединены семью мостами. С меньшего острова в северную и южную части города вели два моста. На большом острове был один мост, ведущий в северную и один в южную часть, а также один мост, соединявший два острова. При изучении задачи Эйлеру пришла в голову гениальная идея обозначить отдельные части города вершинами, а мосты - соединениями между ними. Вот как он построил граф с четырьмя вершинами и семью связями, как мы можем видеть на (рисунке 2) [12].

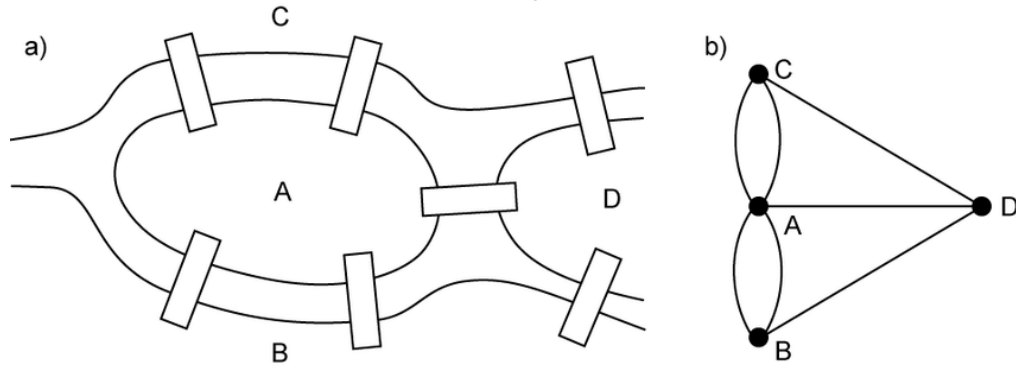


Рис 2. а) Схематическое представление карты города с изображением мостов

б) Начерченный в соответствии со схемой граф

Figure 2. a) Schematic representation of the city map with the image of bridges

б) A graph drawn in accordance with the scheme

Сетевой анализ включает в себя исследование структуры сети с целью оптимизации. Это включает в себя определение критических узлов и путей, а также анализ пропускной способности сети.

С учётом двух наборов элементов, где первый набор представляет вершины, а второй - рёбра, граф можно определить как связь между этими двумя наборами: каждое ребро соединяет пару вершин. Графически графы обычно изображаются путём рисования точек для каждой вершины и соединительных линий между вершинами, если они соединены ребром. Если граф направленный, то направление обычно обозначается стрелками.

Каждому ребру можно присвоить реальное значение, которое представляет собой весовую функцию. Например, если граф моделирует сеть дорог, то весовая функция будет отображать длину каждой дороги. Граф с такими весами называется взвешенным графом.

### Методы и материалы

Вооружившись нашими графическими моделями, углубимся в различные методы оптимизации, используемые в логистических сетях. От

классических задач кратчайшего пути и минимального связующего дерева до более продвинутых алгоритмов, таких как сетевой поток и маршрутизация транспортных средств, благодаря чему сможем понять как теория графов формирует основу стратегий оптимизации. Как уже говорилось ранее в статье логистические сети, играют ключевую роль в современной экономике, благодаря чему оптимизация этих сетей является приоритетной задачей [13]. Одним из мощных инструментов, предоставляющих решения для сложных задач оптимизации в логистике, является муравьиный алгоритм, основанный на принципах природного поведения муравьев, которые находят до еды наиболее кратчайший путь [14]. Каким же образом муравьи имея достаточно низкий интеллект всегда находят кратчайший маршрут к еде, либо к своим строй материалам? Ответ очень прост муравьиная колония в построении своего маршрута использует все доступные маршруты, каждый муравей за собой в процессе передвижения оставляет пахучий след от феромонов, который привлекает внимание следующих муравьев, чем больше муравьев посетят отдельный участок маршрута, тем больше феромонов они оставят и как следствие привлекут своих собратьев пройти именно по этому участку маршрута (рисунок 3) [15].

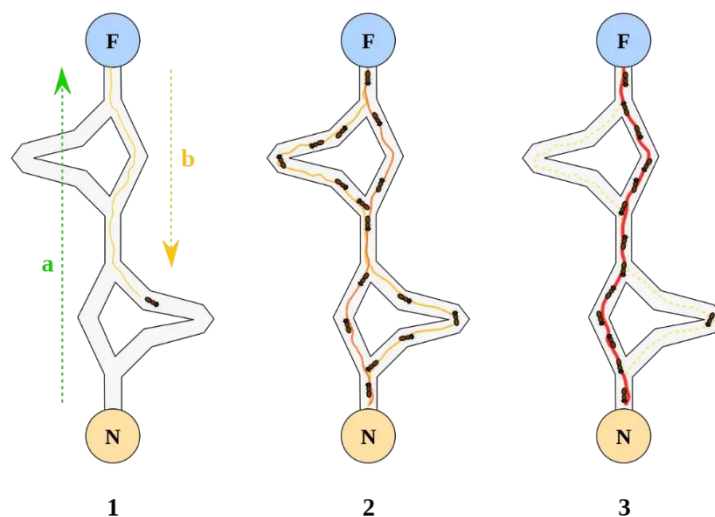


Рис 3. Принцип нахождения оптимального маршрута муравьиной колонией.

Figure 3. The principle of finding the optimal route for an ant colony.

Муравьиные алгоритмы позволяют моделировать процесс принятия решений на основе примера поведения колонии муравьев и коммуникации между ними. Применение муравьиного алгоритма для оптимизации логистических сетей. Для понимания применения муравьиного алгоритма в логистических задачах обратимся к первой комбинаторной задаче, решенной данным алгоритмом, к задаче коммивояжера (TSP – Travelling Salesman Problem). Существует множество вариантов постановки данной задачи. В классической постановке коммивояжёр (странствующий торговец) должен объехать определённое количество городов по замкнутому маршруту, посетив каждый из них только один раз [16]. При этом, чем длина маршрута будет меньше, тем лучше.

Муравьиный алгоритм является примером отличной самоорганизации системы. Многократность взаимодействия реализуется итерационным поиском маршрута коммивояжера одновременно несколькими муравьями. При этом каждый муравей рассматривается как отдельный, независимый коммивояжер, решающий свою задачу. За одну итерацию алгоритма каждый муравей совершает полный маршрут коммивояжера. Положительная обратная связь реализуется как имитация поведения муравьев типа «оставление следов–перемещение по следам». Для задачи коммивояжера положительная обратная связь реализуется следующим стохастическим правилом: вероятность включения ребра графа в маршрут муравья пропорциональна количеству феромона на нем [17].

В разных задачах начальное размещение муравьёв может быть разным. Это зависит от условий задачи. Ещё на этом шаге происходит первоначальное размещение небольшого количества феромона для того, чтобы на первом шаге вероятность перехода в соседнюю вершину была не нулевой.

Для поиска решений вероятности перехода муравья из вершины  $i$  в  $j$  используется следующая формула, представленная ниже.

$$P_{ij}(t) = \frac{\tau_{ij}(t)^{\alpha} \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^{\beta}}{\sum \tau_{ij}(t)^{\alpha} \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^{\beta}}$$

где  $\tau_{ij}(t)$  – количество феромона между вершинами  $i$  и  $j$ ,  $d_{ij}$  – расстояние между этими вершинами.  $\alpha$ ,  $\beta$  – константные параметры. Их необходимо подбирать опытным путём, их значение должно быть такое, чтобы алгоритм не был слишком жадным и не застревал в локальных минимумах.

Чем ближе к нулю параметр  $\beta$ , тем меньше муравьи в выборе пути будут руководствоваться расстоянием между вершинами и будут ориентироваться только на феромон. С увеличением  $\beta$  значение близости растёт. Параметр  $\alpha$  действует так же, но для уровня феромона.

Верхняя часть формулы описывает желание муравья перейти из вершины  $i$  в вершину  $j$ . Оно пропорционально близости вершины и уровню феромона на пути к ней.

Из всего вышеперечисленного следует, что вероятность перехода из вершины  $i$  в вершину  $j$  равняется желанию перейти в неё, делённому на сумму желаний перейти из вершины  $i$  ко всем доступным вершинам, которые ещё не были посещены. Сумма всех вероятностей равна 1.

Уровень феромона обновляется в соответствии с приведённой ниже формулой.

$$\tau_{ij}(t-1) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k \in \{used(i,j)\}} \frac{Q}{L_k(t)}$$

В данной формуле  $t$  – номер итерации,  $\rho$  – скорость испарения,  $L_k(t)$  – цена текущего решения для  $k$ -ого муравья, а  $Q$  – параметр, имеющий значение порядка цены оптимального решения, то есть  $Q/L_k(t)$  – феромон, откладываемый  $k$ -ым муравьём, использующим ребро  $(i, j)$  [17].

Таким образом, количество феромона на ребре между  $i$  и  $j$  на новой итерации равно количеству феромона на старой итерации, умноженное на

коэффициент испарения (феромон постоянно испаряется), и к полученному результату добавляется сумма всех новых порций феромона, который отложили все муравьи на этом участке. Добавка феромона, которую делает муравей, проходя по ребру, равна константе  $Q$ , делённой на длину маршрута  $L$ , пройденную муравьём  $k$ , при условии, что это ребро попало в маршрут муравья [18]. Сложность муравьиного алгоритма зависит от количества вершин, количества муравьёв и времени жизни колонии.

Муравьиные алгоритмы отлично показывают себя при работе с большими объемами данных они способны решать сложные задачи оптимизации, что необходима в современных реалиях, где руководителям все чаще приходится продумывать задачи связанные с управлением и распределением огромного количества заказов, транспортных средств и точек доставки [19]. Еще одним преимуществом муравьиных алгоритмов является тот факт, что они легко параллелизируются, что позволяет эффективно использовать вычислительные ресурсы при решении задач с большим объемом данных независимо друг от друга.

#### *Ограничение метода*

Несмотря на все свои очевидные плюсы и достоинства муравьиный алгоритм имеет также ряд весомых недостатков. Сложность муравьиного алгоритма зависит от количества вершин, количества муравьёв и времени жизни колонии отсюда вытекает самый большой и очевидный недостаток, а именно чрезмерно высокие требования к памяти. Для задач с большим пространством решений требования к памяти могут стать значительными. Это связано с необходимостью хранения информации о каждой комбинации решений, что приводит к увеличению использования памяти. Также затруднен теоретический анализ. Распределение вероятностей меняется при итерациях [20].

К недостаткам метода оптимизации при помощи муравьиных алгоритмов можно так же отнести скорость сходимости, муравьиные алгоритмы могут сходиться медленно, особенно на больших и сложных

задачах. Важно отметить, что производительность муравьиных алгоритмов может варьироваться в зависимости от конкретной задачи и настройки их параметров. Несмотря на то, что муравьиные алгоритмы созданы для поиска хороших решений, нет гарантии того, что они всегда найдут оптимальное решение. Алгоритм может застрять в локальных оптимумах или не достичь некоторых областей пространства решений [21].

При более сложных логистических задачах может возникнуть потребность в дополнительных механизмах для динамических графов. В случае динамических графов, где структура графа или веса рёбер могут изменяться со временем, муравьиные алгоритмы могут потребовать дополнительных механизмов для эффективной адаптации к этим изменениям. Также в подобных журналах может возникнуть сложность с обработкой ограничений. Если задача включает ограничения, такие как ограничения на пропускную способность рёбер или наличие определенных вершин, муравьиные алгоритмы могут столкнуться с трудностями в обработке этих ограничений. [22] Исследователи и практики часто экспериментируют с различными настройками и вариациями для уменьшения этих ограничений для конкретных приложений.

### **Результаты и обсуждение**

Кульминацией нашего исследования станет взгляд в недалекое будущее. Обсудим текущие проблемы в оптимизации логистической сети и новые тенденции, такие как внедрение в логистику искусственного интеллекта и нейронных сетей. Наши исследования в этой статье призваны продемонстрировать, как графы могут стать мощным инструментом для оптимизации сложных логистических сетей [23]. Примером такой интеграций искусственного интеллекта могут стать автоматизация складских помещений и мест промежуточного хранения товара, по средствам помощи ИИ, который бы контролировал роботов и автономные транспортные средства, для перевозки грузов. Что в свою очередь способствовало увеличению скорости и точности выполнению операций на складе. Это не

только бы сэкономило время, но и финансовые ресурсы, внедрение подобного "умного склада" позволило бы руководителю сократить персонал обслуживания в 2-3 раза, сэкономив на выплате заработной платы сотрудникам, получив при этом более эргономичную и стабильную систему обслуживания склада [24]. Основным преимуществом ИИ над человеком является то, что он способен работать непрерывно без усталости и снижения производительности. Искусственный интеллект не подвержен человеческим факторам, таким как эмоции, стресс или отвлечение, что делает его идеальным инструментом для выполнения монотонных и рутинных задач с обработкой огромного массива информации и мгновенной реакцией на все возможные изменения, таких как появление альтернативного менее затратного маршрута, и последующей корректировкой плана транспортировки груза.

### **Заключение**

Проанализировав материал по теме, оптимизация логистических сетей можно прийти к выводу, что графовые структуры – это мощный инструмент для моделирования и оптимизации логистических процессов. Они могут использоваться для оптимизации маршрутных схем, распределения ресурсов и управления запасами. Использование графовых структур может позволить компаниям снизить издержки на транспортировку и улучшить качество обслуживания своих клиентов. Для решения данных оптимизационных задач данным компаниям стоит обратить внимание на муравьиный алгоритм, который в виду своих неоспоримых преимуществ, таких как эффективная работа с огромными объемами данных, что в условиях нынешней глобализации является наиболее актуальным. Однако, следует отметить, что оптимизация логистических сетей на основе теории графов остается активной областью исследований, и есть еще много пространства для развития и усовершенствования методов, к примеру использование для более точного и эффективного построения графов искусственный интеллект, способный к обучению, саморазвитию, который бы в условиях реального



времени мог, с учетом всех нюансов, работая с огромным объемом данных решать логистические задачи по оптимизации транспортных путей. В свете быстро меняющейся экономической и технологической среды, будущее этой области обещает интенсивный приток инноваций, стимулирующих ученых на поиск остроумных решений текущих проблем.

#### **Список источников**

1. Головин М.Ю., Никитина С.А. Влияния Пандемии коронавируса на экономику // Вестник Института экономики Российской академии наук №5. 2020. С. 9–23
2. Жук М.А., Циганова И. А. Моделирование системы поддержки оптимизации // Инновации и инвестиции. 2016
3. Носаченко Н.Н., Логистическая оптимизация цепей поставок товаротранспортной сети региона // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ) № 1 (45) 2014
4. Сосунова Л.А., Пермякова А. А. Изменение бизнес-процессов в логистике как следствие пандемии // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №10 2021
5. Кузьмичёва И.А., Мараховская А. А. Особенности выбора стратегии развития транспортно-логистических компаний // Электронный научный журнал «Век качества» №2 2020
6. Jose M. Gutierrez, Michael Jensen, Tahir Riaz. Applied Graph Theory to Real Smart City Logistic Problems // Procedia Computer Science 95. 2016. С. 40 – 47
7. Зайцев А.А., Курейчик В.В., Полупанов А.А. Обзор эволюционных методов оптимизации на основе роевого интеллекта // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2010
8. Штабов С. Д. Муравьиные алгоритмы: теория и применение // Программирование №4. 2005. С 1-16

9. Орлов А. И. Графы при моделировании процессов управления промышленными предприятиями // Управление большими системами Специальный выпуск 30. 1 «Сетевые модели в управлении»
10. Изотова Т.Ю. Обзор алгоритмов поиска кратчайшего пути в графе // Новые информационные технологии в автоматизированных системах – 2016
11. Мациевский С.В., Квитко Г.В. К истории теории графов. Зарождение // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. 2021. № 4. С. 23—33.
12. Maja Fošner and Tomaž Kramberger Graph theory and logistics // Faculty of Logistics Mariborska cesta 2 3000 Celje Slovenia [maja.fosner@uni-mb.si](mailto:maja.fosner@uni-mb.si) [tomaz.kramberger@uni-mb.si](mailto:tomaz.kramberger@uni-mb.si)
13. Копылов М.Д., Хохлов К. А. Поиск кратчайших путей в транспортных сетях // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №5. 2021.
14. Глушко С.И., Образцов В.В., Кузавко А.С. Применение алгоритма муравьиных колоний для решения задач оптимизации на графе // Приоритетные научные направления: от теории к практике 2012
15. Курейчик В.М., Кажаров А.А. О некоторых модификациях муравьиного алгоритма // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2008
16. Буховцев Д. Д. Применение модифицированного алгоритма муравьиной колонии для решения задачи календарного планирования распределенных предприятий // Современные инновации, системы и технологии, 2021, т.1, № 1
17. Чураков Михаил Якушев Андрей Муравьиные алгоритмы. 2006
18. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – №4.
19. Глушко С.И. Образцов В.В. Кузавко А.С. Применение алгоритма муравьиных колоний для решения задач оптимизации на графе // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2012

20. Курейчик В.М. Кажаров А.А. О некоторых модификациях муравьиного алгоритма // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2008
21. Курейчик В.М. Кажаров А.А. О некоторых модификациях муравьиного алгоритма // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2008
22. Кочкорова А.А. Новые задачи динамической теории графов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2014
23. Юсуфова О. М., Шиболденков В. А., Андреева А. А. Анализ технологий цифровой логистики для автоматизации и сервисной интеграции складских процессов организации // Вопросы инновационной экономики. 2020.
24. Шепелин Г. И., Никитин В. А. Преимущества интеграции искусственного интеллекта в логистике // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022

### References

1. Golovin M.Yu., Nikitina S.A. Impact of the Coronavirus Pandemic on the Economy // Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences No. 5. 2020. pp. 9–23
2. Zhuk M.A., Tsiganova I.A. Modeling of an optimization support system // Innovations and investments. 2016
3. Nosachenko N.N., Logistics optimization of supply chains of the region's commodity transport network // Bulletin of the Rostov State Economic University (RINH) No. 1 (45) 2014
4. Sosunova L.A., Permyakova A.A. Changes in business processes in logistics as a consequence of the pandemic // Scientific and educational magazine for students and teachers "StudNet" No. 10 2021
5. Kuzmicheva I.A., Marakhovskaya A.A. Features of choosing a development strategy for transport and logistics companies // Electronic scientific journal "Century of Quality" No. 2 2020

6. Jose M. Gutierrez, Michael Jensen, Tahir Riaz. Applied Graph Theory to Real Smart City Logistic Problems // Procedia Computer Science 95. 2016. pp. 40 – 47
7. Zaitsev A.A., Kureichik V.V., Polupanov A.A. Review of evolutionary optimization methods based on swarm intelligence // News of the Southern Federal University. Technical science. 2010
8. Shtabov S. D. Ant algorithms: theory and application // Programming No. 4. 2005. С 1-16
9. Orlov A.I. Graphs when modeling management processes at industrial enterprises // Management of large systems Special issue 30. 1 “Network models in management”
10. Izotova T.Yu Review of algorithms for finding the shortest path in a graph // New information technologies in automated systems - 2016
11. Matsievsky S.V., Kvitko G.V. On the history of graph theory. Origin // Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant. Ser.: Physics, mathematics and technical sciences. 2021. No. 4. pp. 23-33.
12. Maja Fošner and Tomaž Kramberger Graph theory and logistics // Faculty of Logistics Mariborska cesta 2 3000 Celje Slovenia maja.fosner@uni-mb.si tomaz.kramberger@uni-mb.si
13. Kopylov M.D., Khokhlov K.A. Search for shortest paths in transport networks // Scientific and educational magazine for students and teachers “StudNet” No. 5. 2021.
14. Glushko S.I., Obratsov V.V., Kuzavko A.S. Application of the ant colony algorithm to solve optimization problems on a graph // Priority scientific directions: from theory to practice 2012
15. Kureichik V.M., Kazharov A.A. On some modifications of the ant algorithm // News of the Southern Federal University. Technical science. 2008
16. Bukhovtsev D. D. Application of a modified ant colony algorithm to solve the problem of scheduling distributed enterprises // Modern innovations, systems and technologies, 2021, vol. 1, no. 1

17. Churakov Mikhail Yakushev Andrey Ant algorithms. 2006
18. Shtovba S.D. Ant algorithms // Exponenta Pro. Mathematics in applications. – 2003. – No. 4.
19. Glushko S.I. Obraztsov V.V. Kuzavko A.S. Application of the ant colony algorithm to solve optimization problems on a graph // Priority scientific directions: from theory to practice. 2012
20. Kureichik V.M. Kazharov A.A. On some modifications of the ant algorithm // News of the Southern Federal University. Technical science. 2008
21. Kureichik V.M. Kazharov A.A. On some modifications of the ant algorithm // News of the Southern Federal University. Technical science. 2008
22. Kochkorova A.A. New problems of dynamic graph theory // New information technologies in automated systems. 2014
23. Yusufova O. M., Shiboldenkov V. A., Andreeva A. A. Analysis of digital logistics technologies for automation and service integration of warehouse processes of an organization // Issues of innovative economics. 2020.
24. Shepelin G. I., Nikitin V. A. Advantages of integrating artificial intelligence in logistics // Scientific and educational magazine for students and teachers “StudNet” No. 6/2022

**Для цитирования:** Алейник Д.В., Коломиец В.Н., Косникова О.В. Оптимизация логистических сетей на основе теории графов // Московский экономический журнал. 2023. № 11. URL: <https://qje.su/ekonomicheskaya-teoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-11-2023-58/>

© Алейник Д.В., Коломиец В.Н., Косникова О.В., 2023. Московский экономический журнал, 2023, № 11.