

УДК 004.89

## АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗКАМИ

Сулюкова Л.Ф.<sup>1</sup>, Ахмеджанова З.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский университет «ТИИМСХ»,  
Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup> Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хорезми, Самарканд, Узбекистан  
slf72@yandex.com, zarrina92@inbox.ru

**Аннотация.** Исследование посвящено разработке алгоритмов и моделей взаимодействия данных информационной системы транспортной логистики на основе методов оптимизации. Статья носит обзорный характер: на ряде примеров демонстрируется целесообразность использования эволюционных алгоритмов для совершенствования информационных систем управления маршрутизацией грузоперевозок. Эволюционные алгоритмы обладают очевидными преимуществами: высокая масштабируемость и гибкость, способность решать задачи глобальной оптимизации и оптимизировать несколько критериев одновременно являются существенными при отборе информативных признаков, селекции обучающих примеров и решении других задач снижения размерности данных.

**Ключевые слова:** информационная система, эволюционные алгоритмы, генетические алгоритмы, оптимизация планирования грузоперевозок, транспортная система.

### I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие абсолютно любого транспортного предприятия невозможно без его обеспечения информационной инфраструктурой и своевременного перемещения информационных потоков. Национальная, международная и внутренние перевозки требуют непрерывного документального обеспечения и информационного покрытия. На каждом этапе транспортировки груза возникает постоянный обмен информацией между сторонами транспортного процесса, предъявляющий определённые требования к чёткости и скорости передачи необходимой информации. Обеспечить исполнение таких требова-

ний можно путём внедрения информационных систем управления [2], которые реализуют упорядоченное хранение и оперативную передачу информации о контроле груза и транспортных единиц. Современные информационные системы предоставляют оперативный доступ ко всей необходимой информации, позволяют значительно упростить процедуры электронного обмена информацией с партнёрами и клиентами, снижают вероятность ошибок и задержек, связанных с человеческим фактором [3].

Планирование грузоперевозок затрагивает еще один важный аспект – маршрутизацию транспортных

средств. Повышенное внимание к задачам этой области объясняется тем, что по разным оценкам от 30% до 50 % всех затрат на логистику связано с транспортными издержками. При этом наиболее сложными и дорогостоящими являются международные перевозки, затраты на которые в 2,5-3 раза выше, чем перевозки на внутреннем рынке.

Определение и эксплуатация рациональных маршрутов при строгом соблюдении сроков поставок помогают добиться не только минимизации эксплуатационных затрат или тонно-километрового пробега, но и сократить товарно-производственные запасы на складах в 1,5-2 раза [4].

Оптимизация перевозок становится серьезным конкурентным преимуществом как среди представителей услуг грузоперевозок, так и среди производителей товаров. При решении практических транспортных задач в большинстве случаев планировщикам нужна интеллектуальная система поддержки принятия решений. Задачи маршрутизации транспорта (поиска оптимальных маршрутов движения транспортных средств) являются NP-трудными, то есть для их решения до настоящего времени не разработаны алгоритмы с полиномиальным временем работы, но и не доказано, что таких алгоритмов не существует.

Названные обстоятельства вынуждают использовать имеющиеся в настоящее время весьма развитые программно-технические средства. Широкое и эффективное применение этих средств стало одним из факторов выживаемости и успеха предприятия в условиях острой конкурентной борьбы. Получили широкое распро-

странение автоматизированные информационные системы (ИАС), которые в последние годы чаще называют информационные системы мониторинга, подразумевая, что без автоматизации их просто невозможно представить.

## **II. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА И СПОСОБОВ ИХ РЕШЕНИЯ**

Можно условно выделить несколько основных классов задач маршрутизации на транспорте, которые наиболее часто рассматриваются в литературе [5;6]:

1. Классическая задача маршрутизации транспортных средств (ТС) (The Vehicle Routing Problem, VRP) и ее разновидности:

простая пикап - доставка (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery, VRPPD);

доставка с упорядочением загружаемых грузов по правилу «последним пришел, первым вышел» (VRPPD with LIFO);

доставка с временными окнами (Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW);

доставка с ограниченной грузоподъемностью ТС на маршрутах или с ограниченной пропускной способностью дуг сети (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP или Capacitated Arc Routing Problem, CARP);

доставка с одновременной сборкой грузов для депо (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up, VRPSDP);

доставка с неоднократным посещением клиентов (Split Delivery Vehicle Routing Problem, SDVRP);

доставка, когда одни и те же ТС могут использоваться многократно на

разных маршрутах (Vehicle Routing Problem with Multiple Trips, VRPMT);

доставка, когда ТС могут иметь более одного депо (Vehicle Routing Problem with Multiple Depots, VRPMD);

открытую задачу маршрутизации, когда транспортные средства не обязаны возвращаться в депо (Open Vehicle Routing Problem, OVRP);

задачу маршрутизации грузовика с прицепом (The Truck and Trailer Routing Problem, TTRP);

задачу маршрутизации транспортных средств с прицепами, когда прицепы могут оставаться в узлах под разгрузку и погрузку (The Rollon-Rolloff Vehicle Routing Problem, RRVRP).

Задачи маршрутизации транспорта (Vehicle Routing Problems, VRP) относятся к широкому классу задач оптимизации, для решения которых нужно сформировать набор маршрутов для парка ТС, расположенных в одном или нескольких депо, удовлетворяющий заданному множеству заявок на перевозку и минимизирующий аддитивную функцию условной стоимости маршрутов. Заявка определяется парой отправитель-получатель и объемом перевозимого товара. Примерами VRP служат задачи развозки документов курьерами, сборки мусора, развозки товара от фабрик к магазинам и т. п.

За рубежом проводится множество исследований в области задач маршрутизации. Разрабатывается классификация задач VRP, совершенствуются подходы и приближенные методы решения [5; 7]. Для решения данных задач используется математический аппарат — теория графов и линейное программирование.

Задачи VRP лежат на пересечении двух хорошо изученных задач:

- задача коммивояжера (Traveling Salesman Problem, TSP): если грузоподъемность каждого ТС принимается бесконечной (точнее, достаточной), то задача VRP сводится к множественной задаче коммивояжера (Multiple Traveling Salesman Problem, MTSP) путем добавления к исходному графу  $k - 1$  (где  $k$  - количество маршрутов) копий нулевой вершины и ее ребер (между этими копиями ребра отсутствуют).

- задача об упаковке рюкзака (Bin Packing Problem, BPP): решение данной задачи, по сути, эквивалентно решению задачи VRP при условии, что все расстояния принимаются равными нулю (таким образом, эффективность всех подходящих решений будет одинакова).

2. Обобщенная задача формирования (определения размера и состава) гетерогенного рабочего парка транспортных средств и схемы распределения потоков грузов и маршрутизации ТС (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem, HFVRP или The Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem, FSMVRP) и ее разновидности в зависимости от ограничений на размер парка.

Целью решения такой задачи является определение общего количества и состава транспортных средств по типам и грузоподъемности, необходимого для выполнения всех перевозок во внутренней зоне магистрального узла при минимизации капитальных затрат на приобретение транспортных средств и эксплуатационных расходов на транспортировку грузов. При решении задачи нужно определить рабочий парк неоднородных транспортных средств (гетерогенный рабочий парк) и найти схему распределения потоков грузов и маршрутизации транспортных средств во внутриузловой сети перевозок.

3. Обобщенная задача формирования гетерогенного рабочего парка ТС, размещения депо и схемы распределения потоков грузов и маршрутизации транспортных средств (The Fleet Size and Mix Location Routing Problem, FSMLRP);

4. Задача проектирования сети (Network Design Problems, NDP) и задача сервисного обслуживания сети (Service Network Design problems, SND), в которой маршрутизация связана с частотой, режимами и графиками проведения сервисных работ.

Второй класс задач иногда обобщают под названием – Fleet Composition and Routing Problems, FCRP.

В отличие от классической задачи VRP и ее разновидностей, задачи семейства FCRP изучались менее интенсивно. В этих задачах рассматриваются не только транспортные расходы, но и расходы, связанные с приобретением неоднородного (гетерогенного) рабочего парка ТС, и они наиболее интересны для проектирования перевозок во внутренних зонах магистральных узлов. В зарубежной литературе принято разделять задачи с неоднородным парком в зависимости от ограниченности или неограниченности количества ТС каждого типа, учета фиксированной стоимости транспортных средств и переменной стоимости транспортировки грузов, а также от того зависят ли цены на транспортировку от типа ТС. Согласно зарубежной классификации выделено пять основных классов задач FCRP:

- Heterogeneous VRP with Fixed Costs and Vehicle Dependent Routing Costs (HVRPFD) – ограниченный парк,

фиксированная и переменная стоимость учитываются, цены зависят от типа ТС;

- Heterogeneous VRP with Vehicle Dependent Routing Costs (HVRPD) – ограниченный парк, учитывается только переменная стоимость, цены зависят от типа ТС;

- Fleet Size and Mix VRP with Fixed Costs and Vehicle Dependent Routing Costs (FSMFD) – неограниченный парк, фиксированная и переменная стоимость учитываются, цены зависят от типа ТС;

- Fleet Size and Mix VRP with Fixed Costs (FSMF) – неограниченный парк, фиксированная и переменная стоимость учитываются, цены не зависят от типа ТС;

- Fleet Size and Mix VRP with Vehicle Dependent Routing Costs (FSMD) – неограниченный парк, учитывается только переменная стоимость, цены зависят от типа ТС [8-14].

На практике все эти задачи могут быть связаны между собой и образовывать различные гибриды в зависимости от необходимости учета фактических ограничений. Рассмотренные классы задач можно разделить и упорядочить по нескольким основополагающим признакам. Например, таким как количество депо и клиентов, технические характеристики ТС, физические характеристики сети дорог и перевозимых грузов (непрерывные и дискретные потоки, однородные и смешанные грузы), схемы и условия перевозки грузов, ограничения по времени и т. п. [15].

Проведенный выше анализ позволяет дать следующую классификацию наиболее часто используемых способов решения задач маршрутизации.

### 1. Простейшие методы.

- Полный лексический перебор.
- Случайный перебор.
- Жадные алгоритмы:
  - а) метод ближайшего соседа (Nearest Neighbor);
  - б) метод включения ближайшего города (Nearest Town);
  - в) метод самого дешевого включения (Most Cheap Inclusion).
- Метод минимального остовного дерева (Minimum Spanning Tree).
- Алгоритм Свира.
- Алгоритм Дейкстры.

### 2. Точные подходы.

- В соответствии с таким подходом перебираются все возможные решения, пока не будет найдено оптимальное.
- Метод ветвей и границ (алгоритм Литтла).
  - Метод ветвей с отсечением (Branch and cut).

### 3. Эвристические методы.

Производится относительно ограниченный поиск по пространству решений, и обычно находятся

хорошие решения за приемлемое время.

- Конструктивные методы.

Постепенно строят подходящее решение, принимая во внимание получающуюся общую стоимость. К ним можно отнести механизм сбережений Кларка - Райта; метод, основанный на совпадениях (Matching Based); эвристики улучшения многих маршрутов (Multi-route Improvement Heuristics).

- Двухфазный алгоритм.

Задача разделяется на две части: организация вершин в группы и построение маршрута по каждой группе.

### 4. Метаэвристики.

В метаэвристических методах акцент делается на тщательном изучении

наиболее перспективных частей пространства решений. Качество решений получается выше, чем у полученных классическими эвристиками.

- Эволюционные методы:

- а) генетические алгоритмы (Genetic Algorithms);
  - б) алгоритмы муравьиной колонии (Ant Algorithms);
  - в) алгоритм поведения «толпы» (Particles Swarm Optimization).
- Имитации отжига (Simulated Annealing).
  - Алгоритм всемирного потопа (Great deluge algorithm).
  - Поиск с запретами (Tabu Search).
  - Программирование в ограничениях (Constraint Programming).

## **III. АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ И ДОСТАВКИ ГРУЗОВ**

Рассматриваемая в работе [16] проблема относится к классу задач Vehicle Routing Problems with Pickup and Delivery (VRPD), в которых рассматривается осуществление адресных доставок одного или нескольких видов грузов некоторому числу потребителей с пунктов производства, хранения или распределения грузов. Средства доставки транспортные средства (ТС) ограниченной грузоподъемности могут состоять из одного или нескольких видов машин с различными техническими характеристиками. После выполнения заданий все ТС должны вернуться в свой начальный пункт базирования. В частных случаях рассматриваются дополнительные проблемы, связанные с необходимостью возвращения остатков грузов от потребителей в пункты их получения (депот). В задачах Vehicle Routing Problems with Time

Windows (VRPTW) предусмотрены дополнительные ограничения на временные окна приема грузов для некоторого числа или всех потребителей. В самом общем случае эти задачи могут иметь несколько целей, как например, выполнение всех заданий в кратчайшие сроки, минимум используемых и необходимых ТС, минимизация общего времени работы всех ТС в пути, минимизация суммарного времени ожидания обслуживания всех ТС (из-за наличия временных окон), а также суммарного расстояния поездки и др.

В литературе описаны различные постановки задач данного класса [16-21]. Основное внимание при этом уделялось постановкам задач, в которых груз в установленном объеме, не превышающем грузоподъемности ТС, из одного и того же пункта одной или несколькими идентичными машинами должен быть доставлен некоторому множеству потребителей. В частных случаях рассматриваются задачи с одним местом приема грузов, одним ТС (которые сводятся к обобщенной задаче коммивояжера), ситуации, когда потребности каждого потребителя могут быть удовлетворены одной поставкой. Математическая модель задачи в такой постановке аналогична известной в литературе задаче Job-shop scheduling with sequence-dependent setup times [22].

Авторами рассматриваются математические модели сформулированных проблем в виде моделей целочисленного линейного программирования большого размера с двух- или трехиндексным обозначением переменных [23] и построения допустимых экстремальных путей на графе [23,24].

Задачи VRPD и VRPTW относятся к классу NP-сложных проблем. В качестве точных методов рассматривались методы динамического программирования и модификации метода ветвей и границ (Column Generation) с использованием препроцессоров и процедур декомпозиции [25]. На практике большое число клиентов и сложная система ограничений не позволяют получить точное решение задачи. В связи с этим много публикаций посвящено разработке эвристических алгоритмов решения задачи в комбинации с методами разбиения множества пунктов на кластеры, применением методов декомпозиции, случайного поиска и генетических алгоритмов [25].

Различные алгоритмы используются с мультимодальным временем, включая алгоритмы Дейкстры и Флойда-Уоршелла, для решения задачи кратчайшего пути в детерминированных графах, в которых веса ребер являются независимыми, фиксированными и заранее определенными значениями. Если веса ребер динамически изменяются в этих алгоритмах, можно не найти оптимального решения, поскольку следует снова проанализировать общий граф с наименьшим изменением. По этой причине исследователи рассматривают алгоритмы для решения задач кратчайшего пути в динамическом графе, в котором веса ребер и /или структура графа динамически меняются с течением времени [26]. Более того, алгоритмы, в которых веса ребер являются стохастическими переменными для стохастических графов, не обладают высокой эффективностью. Таким образом, рассматриваются некоторые алгоритмы для решения задачи кратчайшего пути в стохастических графах. В этих методах вероятностное распределение весов ребер должно быть уже

ясно на графе, в то время как во многих реальных ситуациях граничное вероятностное распределение неясно. В работе [26] предложен алгоритм для решения задачи о кратчайшем пути между двумя узлами, используемый в стохастических графах. В работе [27], авторами предложен алгоритм для нахождения кратчайшего пути между началом координат, другими спроектированными узлами и всеми парами узлов в стохастическом графе.

Метод, предложенный в статье [28], работает в соответствии с вейвлет-преобразованием и генетическим алгоритмом, и водитель получает переменные данные, такие как порядок сложности и трафик. Затем вейвлет риска преобразуется для получения ребер, кратчайший путь достигается с помощью многоступенчатого генетического алгоритма.

#### **IV. АЛГОРИТМЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Проблема анализа исходной информации для принятия решений в информационных системах оказалась настолько значимой, что появилось отдельное направление или вид информационных систем - информационно-аналитические системы (ИАС), представляющие комплекс аппаратных, программных средств, информационных ресурсов, методик, в совокупности образующих информационно-аналитическую модель предприятия. Эти модели используются для обеспечения автоматизации аналитических работ в целях обоснования и принятия управленческих решений.

Многие задачи в проблемно-ориентированных информационных системах сводятся к задачам поиска оптимальных решений. Особенности таких задач являются нелинейность, многоэкстремальность, недифференцируемость, отсутствие аналитического выражения, высокая размерность пространства поиска и т.д.

Для эффективного их решения разрабатываются эволюционные алгоритмы (ЭА). Их разновидностями, наряду с генетическими алгоритмами, являются алгоритмы генетического программирования, эволюционных стратегий и программирования, обучающие классификаторы, алгоритмы Монте-Карло, роевого интеллекта, метрики, гармоничного поиска и др.

Одной из основных проблем, с которой сталкиваются их разработчики, является проблема обеспечения баланса между скоростью сходимости алгоритма и диверсификацией поиска.

Для целенаправленного синтеза эволюционных алгоритмов с развитыми механизмами решения проблемы баланса, адаптации и самоадаптации, необходима проработка теоретических основ ЭА поиска оптимальных решений.

Одним из перспективных подходов для эффективного решения задач маршрутизации транспорта является разработка гибридных методов, в состав которых входят муравьиные алгоритмы.

Муравьиные алгоритмы относятся к группе алгоритмов “роевого интеллекта” и рассматриваются в теории искусственного интеллекта как методы оптимизации.

Муравьиные алгоритмы используются для нахождения приближенных решений различных комбинаторных задач оптимизации: коммивояжера, поиска маршрутов на графах, о ранце, о назначениях, а также задач составления расписаний. Одноприборные задачи составления расписаний возникают в различных областях, в том числе маршрутизации и транспортной логистики, и являются частными случаями более сложных практических задач.

Муравьиные алгоритмы являются хорошо зарекомендовавшими себя метаэвристическими методами для нахождения приближенных решений прикладных оптимизационных задач на графах. Суть подхода заключается в моделировании поведения реальной колонии муравьев, которые способны находить кратчайшие пути в процессе добывания пищи, что наблюдалось в ходе экспериментов в контролируемых условиях. Маркировка более удачных путей большим количеством феромона составляет основу муравьиных алгоритмов.

В МА поиск оптимума задачи коммивояжера осуществляется путём использования агентов (муравьев), оставляющих феромон на пройденном маршруте, а именно, чем короче путь, тем больше концентрация феромона и, соответственно, выше вероятность использования этого пути последующими агентами. Оптимальным маршрутом будет тот, где концентрация феромона самая высокая.

Тем не менее, данный метод имеет недостаток - существует вероятность достижения локального оптимума решения.

Генетический алгоритм (ГА) – метод, за основу которого взят биологический процесс эволюции живых организмов, является эффективным для решения задач, пространство решения которых неизвестно. Решения в ГА выражены в виде генетического кода (хромосом) агента, а каждый агент имеет свой уникальный код. ГА представляет собой набор агентов, которые способны порождать лучшие решения, используя различные стратегии поиска оптимума: кроссинговер, мутацию, селекцию и другие. Существует большое количество разных модификаций ГА, отличия которых, в основном, заключаются в представлении хромосом и реализации генетических операторов. ГА часто сочетают с методами локального поиска для получения качественных решений.

В статье [30] обсуждаются основные элементы теории эволюционных вычислений. Представлены оригинальные меметические алгоритмы сочетающие локальный поиск, кооперацию и соревнование. Эксперименты для NP-сложных задач оптимизации показали, что с помощью разработанной теории эти задачи решаются быстро, надежно и точно.

В процессе функционирования многоцелевой информационной системы в ее базе знаний накапливается информация об окружающем мире. Эту информацию можно использовать в целях оптимизации.

В многоцелевой ИАС базу знаний можно формализовать, например, виде продукционных правил и использовать в качестве элемента воздействия на популяцию. Основными компонентами ЭА являются популяция особей-решений и база знаний. Они взаимодействуют посредством двух функций:



принятия и влияния. Функция принятия определяет множество наилучших решений, корректирующих базу знаний. Функция влияния задает правила, по которым знания влияют на эволюцию особей в популяции. При этом возможна модификация любого из существующих операторов, обеспечивающих эволюционные изменения в популяции.

Псевдокод данного ЭА (КЕА) имеет вид:

**Begin:**

$t=0$ ;

*Инициализация популяции  $P(t)$ ;*

*Инициализация базы знаний  $KB(t)$ ;*

*Оценка популяции  $P(t)$ ;*

**Repeat**

*Взаимодействие ( $P(t)$ ,  $KB(t)$ );*

*Коррекция базы знаний  $KB(t)$ ;*

*Оценка популяции  $P(t)$ ;*

*Эволюция популяции  $P(t)$  на текущей итерации  $t$ ;*

$t=t+1$ ;

**Until** (*проверка условий остановки алгоритма*)

**End**

Эксперименты на бенчмарках известных задач комбинаторной оптимизации (Travelling salesman problem, задача диспетчирования, задача о расписании и др.) показывают, что адаптация и эволюция среди особей популяции происходит по алгоритму КЕА быстрее с использованием базы знаний. Идет накопление знаний, которые передаются другим поколениям.

Сегодня можно утверждать, что разработка гибридных алгоритмов для решения NP-трудных кластерных задач маршрутизации стала общепризнанной в мировой практике [26, 27]. В последние годы наблюдается также тенденция к построению унифицированных алгоритмов и портала-сервера, способных

решать большой класс задач маршрутизации с возможностью учета многих реальных ограничений и параметров [28-30].

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования, можно сделать вывод, что методология разработки алгоритмов решения задач маршрутизации может быть основана на формировании по исходной сложной сети более простой по своей структуре сети (относительно реализации алгоритмов маршрутизации).

Результаты по гибридным алгоритмам показывают возможность оптимизационной комбинации базовых алгоритмов.

Для эффективного управления процессами обработки и транспортировки грузов необходимо оптимизировать долгосрочные, тактические и оперативные решения, используя современные методы комбинаторной оптимизации и информационно-аналитические системы поддержки принятия решений.

Уменьшение эксплуатационных затрат за счет оптимизации решений позволяет снижать тарифы на перевозку грузов, поддерживать здоровую конкуренцию среди перевозчиков и постоянно повышать качество обслуживания хозяйственных предприятий и населения.

В большинстве известных работ, посвященных решению задач маршрутизации на транспорте, рассматриваются идеализированные математические модели, в которых не учитываются многие ограничения, присущие реальным процессам транспортировки грузов.

Для решения задач построения маршрутов с неоднородным парком транспортных средств наиболее часто

применяются классические эвристические и метаэвристические алгоритмы, что объясняется с одной стороны NP-трудностью решаемых задач, а с другой - относительно низкой трудоемкостью разработки таких алгоритмов. Однако следует учитывать, что большинство эвристических алгоритмов на разных экземплярах индивидуальных задач оптимизации могут дать решения, сколь угодно отличающиеся от глобального оптимума. Поэтому для решения задач большой размерности (более 100 клиентов) предпочтительнее использовать гибридные алгоритмы, в которых сочетаются в различных комбинациях точные (ветвей и границ, ветвей и отсечений, ветвей отсечений и цен, генерации столбцов, разбиения множества, динамического программирования) и многочисленные эвристические и метаэвристические методы и подходы.

Проведенное исследование доказывает, что эволюционные алгоритмы становятся все более и более востребованным и ожидается дальнейшее развитие данной области, в особенности в отношении оптимизации планирования транспортировки грузов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Власов, В.М., Ефименко Д.Б., Богумил В.Н. Информационные технологии на автомобильном транспорте. Учебник. - М.: Academia, 2014. - 256 с.
- [2] Миротин Л.Б., Боков В.В. Современный инструментарий логистического управления: Учебник для вузов/ – М.: Издательство «Экзамен», 2015. - 74 с.
- [3] Вартанов Ф.В., Веремеенко Е.Г. Информационные технологии по обеспечению грузовых перевозок// Инженерный вестник Дона, 2018. №1 (48). С. 65-73.
- [4] Яковлева Т.А. Мультиноменклатурная оптимизационная задача маршрутизации транспортных средств с ограничениями на перевозку: автореф... дис. кан. наук. – Уфа. 2012. – 19 с.
- [5] The VRP Web. URL: <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>
- [6] Vehicle Routing and Travelling Salesperson Problems. URL: <http://www.sintef.no/static/am/opti/projects/top/vrp/index.html>
- [7] Vehicle Routing Problems. URL: <http://www.idsia.ch/~monaldo/vrp.html>
- [8] Baldacci R., Battarra M., Vigo D. Routing a Heterogeneous Fleet of Vehicles // Technical Report DEIS OR. INGCE 2007/1, University Bologna, Italy, 2007. — 25 p.
- [9] Baldacci R., Battarra M., Vigo D. Routing a heterogeneous fleet of vehicles // In Golden B.L., Raghavan S., Wasil E.A. (Eds.), The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges. New York: Springer, 2008. P. 1-25.
- [10] Hoff A., Andersson H., Christiansen M., Hasle G., Luukketangen A. Industrial Aspects and Literature Survey: Fleet Composition and Routing // SINTEF REPORT NO. A7029. - 2008. - 49 p.
- [11] Hoff A., Andersson H., Christiansen M., Hasle G., Linkketangen A. Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing// Computers & Operations Research. -2010. 37. P. 2041–2061.

- [12] *Yaman H.D.* Formulations and valid inequalities for the heterogeneous vehicle routing problem // *Mathematical Programming*. 2006. Vol. 106. № 2. P. 365-390.
- [13] *Choi E., Tcha D.* A column generation approach to the heterogeneous fleet vehicle routing problem // *Computers & Operations Research*. 2007. Vol. 34. P. 2080-2095.
- [14] *Pessoa A., Uchoa E., Poggi de Aragao M.* A robust branch-cut-and-price algorithm for the heterogeneous fleet vehicle routing problem // *Networks*. 2009. Vol. 54. Issue 4. P. 167-177.
- [15] *Vasyanin V.A., Ushakova L.P.* Vehicle routing problems with delivery and collection of small-lot cargo in the internal service areas of trunk nodes of hierarchical transport network// *Mathematical modeling in economy*. – 2016. – №3–4. – P. 102-131.
- [16] *Зак Ю.А.* Математические модели и алгоритмы построения эффективных маршрутов доставки грузов. М.: РУСАЙНС, 2015. - 306 с.
- [17] *Зак Ю.А.* Об одной задаче построения допустимых и оптимальных маршрутов доставки грузов. Информационные технологии. 2015. № 5. С. 373—384.
- [18] *Domschke W.* Logistik: Transport. Grundlagen lineare Transport- und Umladeprobleme. Auflage. Mbnchen-Wien: R. Oldenburg Verlag, 2007. 234 pp.
- [19] *Griinert T., Imich St.* Optimierfihg in Transport, 1. Grundlagen & 2. Wege und Touren: Shaker Verlag, 2005.
- [20] *Jepsen M., Petersen B., Spoorendonk S., Pisinger D.* Subset-row inequalities applied to the vehicle-routing problem with time windows // *Operations Research*. 2008. Vol. 56, №2. P. 497-511.
- [21] *Bianchessi N., Righini G.* Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery // *Computers & Operations Research*. — 2007. — Vol. 34 (2). — P. 578-594.
- [22] *Wu C., Zhang N., Jiang J., Yang J., Liang Y.* Improved bacterial foraging algorithms and their applications to job shop scheduling problems // *ICANNGA, Part I*. — 2007. LNCS 4431. — P. 562-569.
- [23] *Dash S., Gunluk O., Lodi A., Tramontani A.* A time bucket formulation for the traveling salesman problem with time windows // *INFORMS Journal on Computing*. — 2012. — Vol. 24. — P. 132-147.
- [24] *Baldacci R., Mingozzi A., Roberti R.* Recent exact algorithms for solving the vehicle routing problem under capacity and time window constraints // *European Journal of Operational Research*. - 2012. - Vol. 218, iss. 1. - P. 1-6.
- [25] *Lin C.K.Y.* A vehicle routing problem with pickup and delivery time windows, and coordination of transportable resources // *Computers & Operations Research*. — 2011. — Vol. 38, N 11. — P. 1596-1609.
- [26] *Beigy H., Meybodi M.R.* Utilizing distributed learning automata to solve stochastic shortest path problems// *International Journal of*

- Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 14(05), 2006. P. 591-615.
- [27] *Misra S., & Oommen B. J.* Dynamic algorithms for the shortest path routing problem: learning automata-based solutions// IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics). 35(6), 2005. P. 1179-1192.
- [28] The Urban Path Routing Adjustable Optimization by Means of
- [29] *Zandavi I. S.M., Pourmirzaagha H., Sendi A., Toosi E.S., Zakariapour M.* Wavelet Transform and Multistage Genetic Algorithm// Journal of Applied and Computational Mechanics, 2019. Vol. 5, №4. P. 696-703.
- [30] *Rodzin S.I.* Smart Dispatching and Metaheuristic Swarm Flow Algorithm // J. of Comp. and Syst. Sc. Inter. 2014. Vol. 53. № 1. P. 109-115.

Поступила в редакцию 10.10.2022

**Цитирование:** Сулюкова Л.Ф., Ахмеджанова З.И. (2022). Алгоритмы решения задач маршрутизации транспорта и их применение в информационных системах управления грузоперевозками. *Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий*, 2(2), –С. 40-52.

## ALGORITHMS FOR SOLVING PROBLEMS ROUTING OF TRANSPORT AND THEIR APPLICATION IN INFORMATION SYSTEMS OF CARGO TRANSPORTATION MANAGEMENT

*Sulyukova L.F.*<sup>1</sup> *Akhmedzhanova Z.I.*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Research University "TIIMSH", Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup> Samarkand branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Samarkand, Uzbekistan  
slf72@yandex.com, zarrina92@inbox.ru

**Abstract.** *The study is devoted to the development of algorithms and models for the interaction of data in the information system of transport logistics based on optimization methods. The article is of an overview nature: a number of examples demonstrate the feasibility of using evolutionary algorithms to improve information systems for managing the routing of cargo transportation. Evolutionary algorithms have obvious advantages: high scalability and flexibility, the ability to solve global optimization problems and optimize several criteria simultaneously are essential in the selection of informative features, selection of training examples, and solving other data dimensionality reduction problems.*

**Keywords:** *information system, evolutionary algorithms, genetic algorithms, cargo transportation planning optimization, transport system.*

**Citation:** *Sulyukova L.F., Akhmedzhanova Z.I. (2022). Algorithms for solving problems routing of transport and their application in information systems of cargo transportation management. INTERNATIONAL JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED ISSUES OF DIGITAL TECHNOLOGIES, 2(2), –P.40-52.*

## MUAMMOLARNI YECHISH ALGORITMMLARI TRANSPORT MARSHRUTLARI VA ULARNI YUK TASHILISHI BOSHQARMASI AXBOROT TIZIMLARIDA QO‘LLANISHI.

*Sulyukova L.F.<sup>1</sup>, Axmedjanova Z.I.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> “TIIMSH” Milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, O‘zbekiston.

<sup>2</sup> Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti  
Samarqand filiali, Samarqand, O‘zbekiston  
slf72@yandex.com, zarrina92@inbox.ru

**Annotatsiya.** *Tadqiqot optimallashtirish usullariga asoslangan transport logistikasi axborot tizimidagi ma'lumotlarning o'zaro ta'siri algoritmlari va modellarini ishlab chiqishga bag'ishlangan. Maqola umumiy ko'rinishga ega: bir qator misollar yuk tashish yo'nalishini boshqarish uchun axborot tizimlarini takomillashtirish uchun evolyutsion algoritmlardan foydalanishning maqsadga muvofiqligini ko'rsatadi. Evolyutsion algoritmlar aniq afzalliklarga ega: yuqori miqyoslilik va moslashuvchanlik, global optimallashtirish muammolarini hal qilish va bir vaqtning o'zida bir nechta mezonlarni optimallashtirish qobiliyati informatsion xususiyatlarni tanlashda, o'qitish misollarini tanlashda va boshqa ma'lumotlar o'lchamlarini kamaytirish muammolarini hal qilishda muhim ahamiyatga ega.*

**Kalit so‘zlar:** *axborot tizimi, evolyutsion algoritmlar, genetik algoritmlar, yuk tashishni rejalashtirishni optimallashtirish, transport tizimi*