

Лебедева Ольга Анатольевна,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: kravhome@mail.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭВРИСТИЧЕСКИХ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Lebedeva O.A.

THE DESIGN OF THE TRANSPORT NETWORK OF THE CITY TERRITORY BY APPLICATION OF THE EVRISTIC AND GENETIC ALGORITHMS

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы проектирования транспортной сети городских территорий, которые включают процедуры оптимизации – определения маршрутов и интервалов движения. Модель должна стать инструментом, позволяющим интенсивнее развивать транспортную инфраструктуру, проектировать сеть нового поколения, характеризующуюся эффективностью, высоким качеством обслуживания и увеличением значимости городских пассажирских перевозок. Модель эвристического проектирования формулируется для городских районов, как задача оптимизации (минимизации расходов). Моделирование состоит из трех этапов: 1) эвристического алгоритма генерации множества возможных маршрутов; 2) генетического алгоритма нахождения оптимальных маршрутов; 3) выбора конфигурации сети. Выходные данные модели – это автобусные маршруты, интервалы и вместимость подвижного состава.

Ключевые слова: проектирование маршрутной сети, оптимизация, городской транспорт, генетические алгоритмы.

Abstract. The article discusses modern methods of designing a transport network for urban areas, which include optimization procedures – determining routes and traffic intervals. The model should become a tool to more intensively develop the transport infrastructure, design a new generation transport network, characterized by efficiency, high quality service and a passion for the importance of urban passenger traffic. The heuristic design model is formulated for urban areas as an optimization problem (cost minimization). The simulation consists of three stages: 1) a heuristic algorithm for generating a set of possible routes; 2) genetic algorithm for finding optimal routes; 3) choice of network configuration. The output of the model is the bus routes, the intervals and the capacity of the rolling stock.

Keywords: route network design, optimization, urban transport, genetic algorithms.

Проектирование транспортных сетей является актуальным направлением исследований в условиях современной автомобилизации. Повышение качества работы городского пассажирского транспорта обусловило выбор темы, постановку целей данного исследования. Процедуры оптимизации сводятся к решению задачи проектирования сети путем определения маршрутов и интервалов движения. Рассматриваемый подход основан на минимизации целевой функции.

Основная цель этого исследования – проектирование транспортной сети городских территорий с определением оптимальных маршрутов и расписания движения. Эта цель достигается в ходе исследования путем применения трех этапного моделирования.

Эвристический подход, основанный на процедурах минимизации целевой функции, содержит ограничения эксплуатационных расходов перевозчиков и удовлетворение спроса пассажиров на перевозки городским общественным транспортом. Процедура оптимизации включает планирование работы транспортной сети, установление интервалов движения.

Система моделирования традиционно основана на подходах математического программирования. На первом шаге генерируется множество возможных маршрутов, и объединяются пути проезда. Второй шаг включает в себя создание минимального подмножества маршрутов, решение множества. На третьем шаге используем многоцелевой анализ, выбирая наиболее подходящие подмножества. На четвертом шаге генерируются маршруты с использованием эвристического алгоритма. На пятом шаге получаем матрицу и выбираем в качестве основных остановочные пункты с высоким спросом, далее маршрут расширяется в соответствии со стратегией выбора узла, соблюдая компромисс между показателями эффективности (затратами пассажиров и перевозчиков) [1-3].

В соответствии с целью исследования были поставлены и решены следующие задачи:

- обоснование необходимости использования современных инструментов, позволяющих проводить проектирование транспортной сети разного масштаба;
- подтверждение возможности использования модели как способа сокращения эксплуатационных расходов;
- формирование методологии проектирования транспортной сети;
- аргументация необходимости натуральных исследований как важного инструмента транспортного моделирования.

Модель применяется для средних и крупных городов, с характерными для сети сложными топологиями, где система общественного транспорта является мультимодальной, а основной вид перевозок – автобус. Структура спроса строится на условии, что узлы обслуживаются множеством маршрутов. Данные, необходимые для эвристической модели – заданный спрос в матрице корреспонденций, характеристики улично-дорожной сети, а также эксплуатационные расходы, расходы пассажиров. Модель учитывает общие временные затраты: время ожидания, время в пути.

Функция может быть выражена следующим образом [4]:

$$FO = C_1 \times VKM + C_2 \times VH + C_3 \times (TV + w_1 \times TW + w_2 \times NT) \quad (1)$$

где $VKM = \sum_{i \in I_i} L_i \times f_i$ – протяженность маршрута;

$VH = \sum_{i \in I} \sum_{hk \in I_{a,i}} tp_{hk,i} \times f_i$ – общее время в пути;

$TV = \sum_{i \in I} \sum_{hk \in I_{a,i}} tp_{hk} \times p_{hk,i}$ – общее время в пути пассажира;

$TW = \sum_{i \in I} \sum_{hk \in I_{w,i}} tw_{hk,j} \times pw_{hk,i}$ – общее время ожидания транспорта;

$NT = \sum_{n \in I_n} nt_n$ – общее число пересадок пассажира;

L_i – протяженность маршрута i (км); f_i – интервал движения на маршруте i (авт. / ч); I_i, I_w, i, I_n – набор маршрутов, транспортный путь и узлы транзитной сети; $t_{phk, i}, t_{whk, i}$ – время в пути и время ожидания для участка hk маршрута i ; nt_n – количество пересадок, выполненных в узле n ; C_1 – коэффициент для перевода пробега (км) в стоимостное значение; C_2 – коэффициент перевода часов работы транспортного средства в стоимостное значение; C_3 – коэффициент перевода времени поездки пассажира в стоимостное значение; w_1 – вес времени ожидания; w_2 – вес штрафа за пересадку.

Базовая структура модели устанавливается на следующих этапах:

1) эвристический алгоритм генерации, использует различные критерии и определяет рациональный набор возможных маршрутов;

2) генетический алгоритм, определяет оптимальный набор маршрутов с интервалами движения и вместимостью автобуса;

3) окончательное определение конфигурации сети.

Эвристические процедуры, использующие детерминированные стратегии для нахождения оптимального решения применяются в небольшой транспортной сети. Генетический алгоритм с вероятностными методами оптимизации разработан для больших сетей с переменными дискретного характера и нелинейностью целевой функции. Характеристики системы (спрос, топология сети) усложняют процесс решения задачи.

На первом этапе модель генерирует три различных набора маршрутов. Цель состоит в том, чтобы разработать последовательный набор из построенных маршрутов, с эффективной схемой объезда в соответствии с различными критериями. Первый набор (маршруты типа «А») состоит из кратчайших путей между парами узлов со временем ожидания, превышающим минимальное. Второй набор (маршруты типа «В») генерируется с целью разработки маршрутов иерархической сети, состоящих из основных и дополнительных участков улично-дорожной сети. Третий набор (маршруты типа «С») включает уже существующие маршруты в транспортной сети. Полученные маршруты должны быть рациональными и являться исходными данными для генетического алгоритма.

Рассмотрим алгоритм генерации маршрутов типа «А» (рисунок 1). В этом случае используемые критерии генерации направлены на уменьшение количества пересадок и разработку оптимальных маршрутов. Полученные маршруты должны быть сгенерированы относительно матрицы спроса и представлять оптимальную транспортную сеть для удовлетворения потребностей населения в городских пассажирских перевозках.

Этот набор типа «А» состоит из оптимальных маршрутов между парами узлов отправления O и назначения D по кратчайшему пути. Маршруты генерируются для всех пар OD , в которых время ожидания транспорта превышает заданный порог (T_{min}).

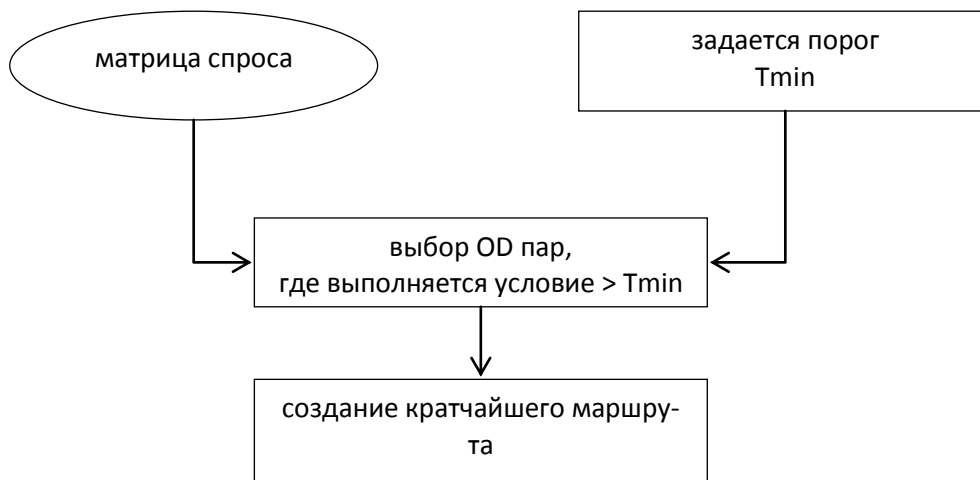


Рисунок 1 – Алгоритм генерации маршрутов типа «А»

Генерация маршрутов «В» – основана на другой логике построения и состоит из маршрутов иерархической сети с магистральными и районными дорогами (рисунок 2).

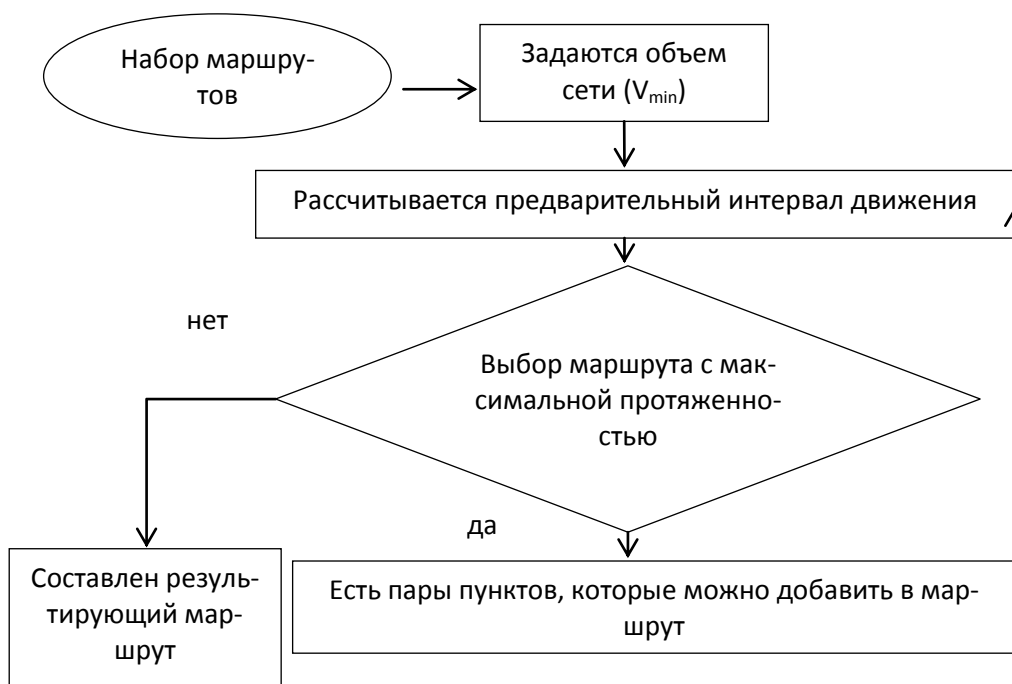


Рисунок 2 – Алгоритм генерации маршрутов типа «В»

Стратегия данного алгоритма направлена на увеличение загруженности транспортных средств и обеспечение качественных услуг по перевозке пассажиров. Получаемые маршруты позволяют более эффективно развивать сеть, чем маршруты типа «А». Построение основано на матрице спроса и анализе

транспортных потоков. Затем определяется предварительный интервал движения на маршруте (f_i):

$$f_i = \frac{v_{max}}{f \times C_{max} \times C_v} \quad (1)$$

где V_{max} – максимальный объем перевозок на маршруте i , C_{max} – максимальный коэффициент загрузки, а C_v – вместимость автобуса.

В итоге, когда сгенерированы маршруты типа «А», «В» и «С», проверяется выполнение ограничений. В частности, ограничения связанные с максимальной и минимальной протяженностью и наличием маршрутов, дублирующих сгенерированный. Если все ограничения соблюдаются, маршруты заносятся в набор, как входные данные для второго этапа оптимизации.

Генетический алгоритм основан на понятиях отбора, и используется для решения задач оптимизации общего назначения. Он отличается от других методов, возможностью выполнения одновременно нескольких операций, и работой с кодировкой параметров. Выбор подмножества «оптимальных» маршрутов осуществляется с его использованием. Алгоритм позволяет осуществить выбор подмножества маршрутов, относительно размеров транспортных средств и интервалов движения. Переменными являются задачи оптимизации и возможные пути объезда, которые идентифицируются по коду маршрута. Схема кодирования превосходит двоичное представление, так как работает более эффективно и экономит время обработки.

В начале процедуры выполняется присвоение спроса. Для каждого маршрута, в соответствии с максимальным размером сети и вместимостью транспортного средства определяется интервал движения. Процесс прекращается, когда значения интервала движения становятся неизменны. Перед первой итерацией определяются размеры сети и интервалы движения для каждого маршрута. Функция (FO) добавляет еще один член – «штраф», если спрос не удовлетворен. Посредством этого алгоритм позволяет учитывать ограничения, связанные с минимальным процентом удовлетворения спроса. Таким образом, можно выбрать оптимальную конфигурацию сети.

Окончательное определение конфигурации сети предусматривает систематический анализ. Чтобы улучшить конфигурацию сети, рассматриваются подходящие маршруты с точки зрения общего обслуживаемого спроса, эффективности работы сети. Для каждого выбранного маршрута генетическим алгоритмом проверяется: 1) расширение маршрута; 2) сокращение маршрута; 3) расширение маршрута, включая другие граничащие узлы, к исходному пути. Проводится оценка изменения маршрута на уровне сети, анализируется значение FO. Для построения конфигурации сети требуются следующие входные данные: матрица спроса, характеристики улично-дорожной сети, существующий интервал движения и размеры транспортных средств.

В заключение хочется отметить, что в исследовании отражена методология проектирования сети городского общественного транспорта в средних и

крупных городах. Предлагается усовершенствование процедур проектирования путем введения одновременно различных критериев для создания маршрута. Такой подход позволяет учитывать структуру городских районов и генерировать множество возможных маршрутов, обеспечивая исходные данные для дальнейших исследований. Модель состоит из маршрутов «А» и «В» типа, дает возможность обеспечивать не только высокий уровень транспортного обслуживания, но и удовлетворять спрос населения в пассажирских перевозках. Важно отметить, что транспортная сеть проектируется в соответствии с характеристиками системы (часы пик, средние статистические характеристики). В реальной сети должен учитываться спрос различных групп населения (студенты, учащиеся, пенсионеры, работающие), вид (систематические, случайные) и цель поездки, время движения [1-3]. Модель обеспечивает общую и довольно гибкую структуру для проектирования транспортной сети, которая позволяет решать различные задачи для получения оптимального решения. Апробация модели на искусственной и реальной сети показала следующие результаты: набор сгенерированных маршрутов состоит из маршрутов обоих типов; последний выбранный набор всегда является комбинацией различных типов маршрутов с преобладанием маршрутов типа «А». Внедренный генетический алгоритм показал рациональную конфигурацию сети. При тестировании на реальной сети, была получена сетевая конфигурация.

В целом, в исследовании была использована методология проектирования сети городского общественного транспорта в средних и крупных городах, что нашло отражение в транспортной модели, которая может быть адаптирована к задачам разной масштабности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедева О.А. Вопросы функционирования городского пассажирского транспорта // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2013. Т. 1. С. 40.
2. Лебедева О.А. Показатели оценки эффективности работы общественного транспорта // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2018. Т. 1. С. 108-109.
3. Полтавская Ю.О., Лебедева О.А. Оценка качества обслуживания пассажиров общественным транспортом // Научные исследования и разработки молодых ученых. 2014. №1. С. 110-113.
4. Petrelli M. A transit network design model for urban areas. WIT Transactions on The Built Environment., Vol. 75, 2004, p.163-172.