



Н. В. Кроль¹, А. С. Полетаев², Р. Ю. Упырь¹, А. В. Дудакова¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

² Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 20 марта 2019 г.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК С УЧЕТОМ ВЫБОРА МЕСТА ПРЕБЫВАНИЯ

Аннотация. В работе выполнен анализ критериев поиска оптимального маршрута в городской мультимодальной транспортной системе. Стоит отметить, что в большинстве случаев оптимальным является наикратчайший, самый комфортный или экономически выгодный маршрут. Предложен алгоритм построения маршрута с минимальной стоимостью проезда от места нахождения пассажира до места пребывания с учетом его индивидуальных предпочтений. Для автоматизации выбора места проживания пассажира и составления маршрута следования в среде «LabVIEW» создан комплект программных модулей. В разработанном программном комплексе пассажиру предлагается персонализировать уровень комфорта при использовании различных видов транспорта. Далее происходит поиск гостиниц, удовлетворяющих требованиям пассажира: удаленность от моря (или центра города), стоимость проживания, класс комфортабельности номера. Подбор подходящих вариантов может быть осуществлен путем сортировки по стоимости поездки, времени в дороге, уровню комфорта проезда до определенной точки. Это может быть место работы в случае командировки, торговый центр или любое другое культурно-массовое место в случае туристической поездки. После этого программа выполняет расчет всех возможных маршрутов следования и выбирает оптимальный путем минимизации стоимости поездки, времени в пути или поиска максимального уровня комфорта, усредненного по маршруту. Критерии, которые пассажир выбирает для построения маршрута, задают направление работы алгоритма, тем самым предлагая уникальный вариант передвижения для конкретного пользователя программного комплекса. Работоспособность алгоритма показали результаты имитационного моделирования.

Ключевые слова: мультимодальная транспортная система, оптимальный маршрут, туристические перевозки.

N. V. Krol¹, A. S. Poletaev², R. Yu. Upyr¹, A. V. Dudakova¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

² Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation

Received: March 20, 2019

A TECHNOLOGY OF THE OPTIMAL ROUTE BUILDING IN MULTIMODAL PASSENGER TRANSPORTATION SYSTEMS WITH CONSIDERATION FOR A PLACE TO STAY

Abstract. The article discusses criteria of the optimal route searching; the analysis was made to take into account an urbanistic character of the multimodal transport system. In most cases, the optimal route is the shortest, most comfortable or most low-cost one. The suggested algorithm searches the minimum-cost route for travelling from the passenger location point to a place of stay taking into account his personal preferences. A set of program modules has been designed in LabVIEW in order to automate the process of selecting a passenger's place of stay and searching for the optimal route for urban environment. The designed software provides the personalization of comfort level to a passenger for each transport mode. Then it finds hotels for the passenger's criteria: remoteness from the sea-shore or the city center, hotel room cost and its comfort class. It is optional to sort the results by ascending of the total fare, time, or comfort level of travel to a certain place in a city. It can be a place where the passenger works in case of a business trip or it also can be a shopping mall. After that the program calculates all possible routes and finds the optimal one with minimum cost, travelling time, or maximum comfort level averaged for the whole route. The criteria which the passenger chooses to build a route predetermine the way the algorithm works, thereby offering a unique travel option for a specific user of our software. Simulation results showed high efficiency of the suggested algorithm.

Keywords: multimodal transport system, optimal route, touristic transportations.

Введение

При планировании путешествий туроператорами повсеместно используется организация туристических маршрутов, основанная на практическом опыте. При таком подходе проблематичным является поиск оптимального пути следования. Данный вопрос всегда является актуальным, в

том числе и для пассажира, так как он определяет для себя параметры, по которым будет происходить выбор. Для одних первостепенной является стоимость проезда, для других принципиально важно минимальное время в пути или максимальный уровень комфорта. В некоторых работах авторов уже описывалось построение маршрутов



следования с учетом заданных критериев, а также показывалось создание маршрутной таблицы в динамическом формате [1–3]. В указанных исследованиях уровень комфорта для каждого вида транспорта задавался на основании общих статистических данных, основанных на социальных опросах. Однако уровень комфорта по-разному оценивается пассажирами. Для одних максимальный уровень комфорта достигается при использовании авиатранспорта, но для других пассажиров страх перед полетом меняет представления о комфорте самолетов, что смещает предпочтение в пользу иного вида транспорта. Модернизация разработанного алгоритма [1–3] с учетом данного обстоятельства может быть реализована путем введения дополнительного программного модуля для оценки уровня комфорта с учетом предпочтений пассажиров.

Качественно подготовленный маршрут не ограничивается пунктами отправления и назначения (аэропорты, вокзалы, автовокзалы). Полный спектр программного обеспечения должен сочетать в себе возможность выбора пути, по которому пассажир сможет добраться до места проживания. Выбор места пребывания так же зависит от ряда критериев: различные уровни комфорта, стоимость и удаленность от водоема (моря или озера в случае туристической поездки), варианты для проживания (отели, хостелы, гостевые дома и др.). Если принять во внимание инфраструктуру городской среды, то для расчета имеется огромное количество различных способов перемещения. Например, пусть пунктом назначения будет вокзал города, а место пребывания – отель на окраине. Для человека, попавшего в незнакомую местность, становится проблематичным самостоятельное построение маршрута. Таким образом, возникает необходимость заблаговременного планирования. Описанный алгоритм [1–3] можно применить для поиска маршрута в условиях городской среды для таких критериев подбора, как наименьшее время в пути и максимальный комфорт. В отношении минимизации стоимости мультимодальной перевозки необходим совершенно иной подход.

В работе Е.А. Кравченко и А.Е. Кравченко рассматриваются критерии качества обслуживания населения в курортных зонах общественным транспортом, а также конкурентоспособность автобусных перевозок [4]. Отмечено, что роль мультимодальных пассажирских перевозок имеет особое значение именно для транспортных систем в курортных зонах. В связи с тем, что маршруты курортных зон включены в транспортную систему города, то, соответственно, мультимодальные системы организации движения при планировании

туристических маршрутов неразрывно связаны с транспортной системой города в целом.

Рассматривались также критерии конкурентоспособности пассажирского транспорта, на основании которых пассажиром делается выбор в пользу того или иного вида транспорта [5, 6]. Вопрос прогнозирования спроса на пассажирские перевозки исследовался А.С. Пашковой, А.Н. Иванковым и В.Е. Гозбенко [7]. Авторы пришли к выводу, что разработка метода прогнозирования пассажиропотоков, нацеленного на использование автомобильного транспорта по категориям, является немаловажным фактором при организации транспортной сети. Проблеме выбора оптимального варианта пассажирских перевозок посвящена и другая работа [8], в которой рассматривается использование метода ранжирования показателей эффективности, позволяющих добиться лучшего сочетания для выбора пассажирской системы перевозок.

Для того чтобы удовлетворить потребности всех пассажиров в передвижении по требуемым маршрутам, уровень комфорта и экономическую обоснованность сказанного, городская пассажирская транспортная сеть должна иметь высокую мощность [9–12]. Мультимодальные транспортные системы разрабатываются и используются не только на уровне регионов, а также и в городской среде мегаполисов [13, 14]. Рассмотрена пропускная способность сети и модель выбора подвижного состава для перевозки пассажиров [15], авторами предложена математическая модель, которая учитывает факторы, влияющие на конечную стоимость перевозки во взаимосвязи с экономической целесообразностью.

Таким образом, обобщая имеющиеся представления, можно выделить следующие основные критерии, учитываемые пассажирами: стоимость перевозки, время в пути и комфорт проезда. В связи с тем, что вопрос организации мультимодальных пассажирских транспортных сетей для развития туристических маршрутов является актуальным для Прибайкалья и Монголии [16, 17], за основу построения сети были взяты наиболее посещаемые места при организации туров. Стоит отметить, что при составлении маршрутов следует учитывать не только особенности курортных зон, но и специфику мультимодальной транспортной системы городов. Вопросы организации комфортной среды пассажиров при перевозке различными видами транспорта, в том числе технологические, исследовались в работе «Современное состояние разработок в области транспортной динамики» [18].

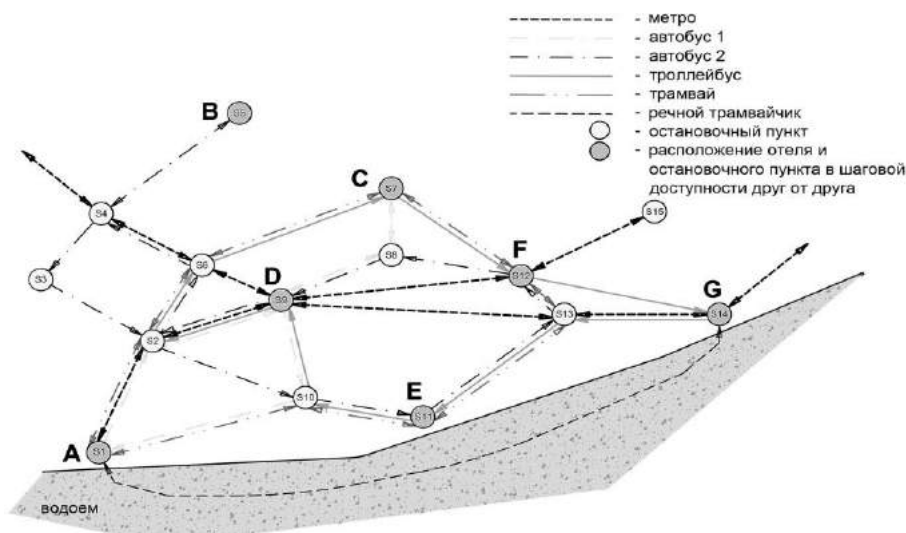


Рис. 1. Схема движения пассажирского транспорта в условиях городской среды в виде частично направленного графа

Мультимодальная пассажирская транспортная сеть в условиях городской среды

При создании мультимодальной системы в условиях городской среды необходимо учитывать следующие факторы: наличие различных видов общественного транспорта и маршруты их следования, расположение и соседство остановочных пунктов, направление движения транспорта, стоимость проезда, время в пути.

Рассмотрим процедуру выбора подходящего места проживания пассажира по заданным им критериям, а также построение оптимального маршрута следования от пункта прибытия в город до выбранного места проживания. Данный процесс можно разделить на несколько этапов:

- ранжирование видов транспорта по уровню комфорта;
- выбор оптимального места проживания;
- определение параметра, по которому будет осуществляться построение маршрута следования пассажира;
- построение оптимального маршрута.

В качестве примера приведена мультимодальная пассажирская транспортная сеть города, представленная в виде частично ориентированного графа (рис. 1). Вершинами графа являются остановочные пункты общественного транспорта. Заглавными латинскими буквами обозначены гостиницы, находящиеся в шаговой доступности от остановки. Ребрами графа выступают различные маршруты следования общественного пассажирского транспорта. В нижней части отмечена береговая линия и водоем.

На первом этапе пассажиру предлагается проранжировать имеющиеся виды транспорта по уровню комфорта с целью персонализации построения маршрута. После этого необходимо определиться с выбором места для проживания. Предлагаемые варианты должны учитывать стоимость проживания, класс комфорта номера, удаленность отеля от береговой линии либо центра города, удобство поездок (время в пути, стоимость поездки, уровень комфорта) из отеля в определенную часть города, где находится место работы (в случае командировки) или крупный торгово-развлекательный центр.

Следующий этап включает в себя процедуру поиска всех возможных маршрутов следования от точки отправления к месту назначения, а также последующий отбор по требуемому критерию. Вся транспортная сеть была поделена на сегменты, где каждый отдельный вид транспорта не выходил за границу окончания сегмента – в каждом транзитном пункте предполагалась пересадка на другой вид транспорта или маршрут [1, 3]. Однако в условиях городской среды при минимизации стоимости проезда возникает проблема: в рамках одного сегмента существует возможность проезда разными рейсовыми транспортными средствами, а их движение распространяется на несколько сегментов локальной транспортной сети. Для построения маршрута с минимальной ценой требуется другой алгоритм выбора транспорта в сегментах.

Алгоритм минимизации стоимости проезда по маршруту

Исходными данными для вычислений являются матрица цен $Mp[N, m]$ и матрица транспорта $Mtr[N, m]$ – двумерные массивы, состоящие из N



строк и m столбцов. Каждый столбец соответствует сегменту в проложенном маршруте – участку транспортной сети между двумя остановочными пунктами, а количество строк равняется числу всех возможных рейсовых транспортных средств, полностью или частично следующих рассматриваемому маршруту. Матрицы $Mp[N,m]$ и $Mtr[N,m]$ упорядочены по возрастанию цены проезда рейсового транспорта – в нулевой строке содержатся записи с наименьшей стоимостью. Приведена блок-схема разработанного алгоритма минимизации стоимости проезда (рис. 2).

Первый цикл алгоритма (индексация по параметру $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$) осуществляет перебор строк в таблицах $Mp[N,m]$ и $Mtr[N,m]$. Во втором

цикле (индексация по j) в изъятой из таблицы i -ой строке $mp = Mp(i, :)$ осуществляется поиск наиболее длинной последовательности пустых ячеек (процедура сводится к нахождению возрастающей цепочки номеров пустых элементов) (рис. 3, б). В итоге становятся известны начальный $e0$ и конечный en индексы пустых элементов цепочки.

Если пустые ячейки не найдены, то алгоритм возвращает изъятую строку обратно на позицию i , а цикл переходит к следующей строке. Если в рассматриваемой строке mp найдена цепочка пустых элементов, то алгоритм осуществляет проверку возможности замены всей цепочки данными из других строк. Эта процедура реализуется в третьем цикле (индексация по $k = 0, 1, 2, \dots, N-2$).

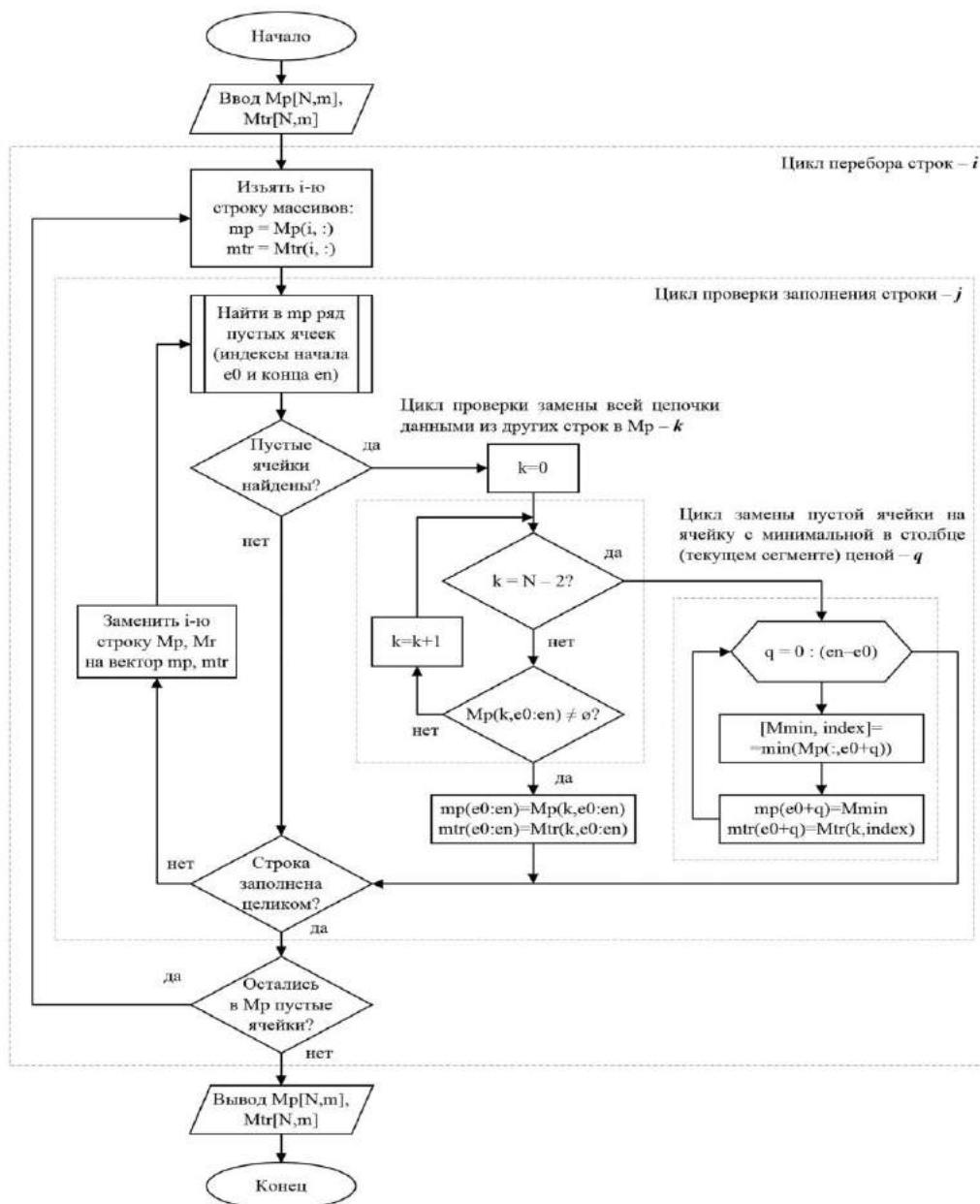


Рис. 2. Алгоритм минимизации стоимости проезда по маршруту

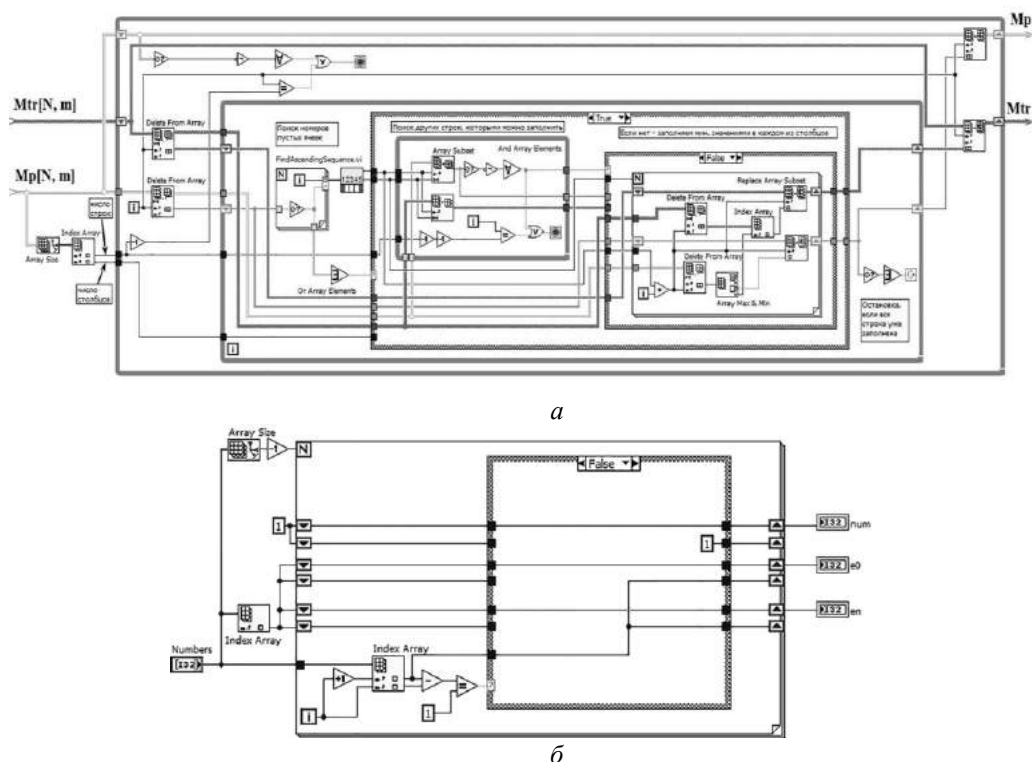


Рис. 3. Реализация алгоритма минимизации стоимости проезда на языке программирования «LabVIEW»:
 а – основная программа работы алгоритма; б – подпрограмма «Find Ascending Sequence.vi» процедуры поиска цепочек индексов подряд идущих пустых элементов

При обнаружении варианта для замены, элементам $mp(e0:en)$ присваиваются соответствующие значения из k -ой строки матрицы цен $Mp(k, e0:en)$. Упорядоченность матрицы цен по возрастанию стоимости проезда автоматически приводит к тому, что найденный вариант является наименее дорогостоящим.

Если третий цикл завершился при проверке условия $k = N-2$, то для данного маршрута неизбежны как минимум две пересадки на рейсовом транспорте. Происходит переход к четвертому циклу (индексация по q), где каждая пустая ячейка mp и mtr заменяется на минимизированное по соответствующему столбцу значение. Если строка mp все еще содержит пустые элементы (например, если есть несколько цепочек пустых элементов), то осуществляется переход к новой итерации j второго цикла.

Когда текущая строка mr становится полностью заполненной, выполняется проверка наличия пустых ячеек во всей таблице Mp . К примеру, технически это может быть реализовано путем применения к матрице функции `isnan()` в программе на языке «MATLAB» или функции «Not A Number / Path / Refnum?» на языке «LabVIEW», а результат их выполнения подвергнется поэлементной дизъюнкции. Когда пустых ячеек нет (результат дизъюнкции – false), то алгоритм завершается.

Реализация алгоритма в среде «LabVIEW»

Рассмотренный алгоритм был реализован в среде графического программирования «LabVIEW». Данный язык программирования отличается удобством и функциональностью организации интерфейса пользователя, простотой разработки приложений, полиморфизмом встроенных функций, наглядностью иерархии использованных программных модулей. В результате существенно сокращается время написания, тестирования и отладки программы. Представлена блок-схема программы, работающей в соответствии с разработанным алгоритмом (см. рис. 3).

Пользовательская функция «Find Ascending Sequence.vi» и расположенный перед ней цикл «For Loop» образуют процедуру поиска номеров пустых элементов в строке mp (см. рис. 2). Передача значений переменных в циклах происходит при помощи сдвиговых регистров. Результатом выполнения являются заполненные двухмерные массивы Mp и Mtr .

Использование алгоритма минимизации стоимости проезда по маршруту

Для проверки работоспособности алгоритма проведено имитационное моделирование при различных вариантах реализации входных данных. Представлен экран работы программы разрабо-



танного алгоритма по поиску оптимального маршрута следования на основе выбранного критерия «минимальная стоимость» (рис. 4).

В левом верхнем углу указаны виды транспорта, которые можно использовать при построении маршрута от точки отправления до места назначения. Данные виды транспорта присутствуют на сегментах, из которых состоит маршрут. Рядом указана цена проезда. В матрице цен отображается такое количество столбцов, сколько

маршрута от точки отправления до места назначения. Данные виды транспорта присутствуют на сегментах, из которых состоит маршрут. Рядом указана цена проезда. В матрице цен отображается такое количество столбцов, сколько

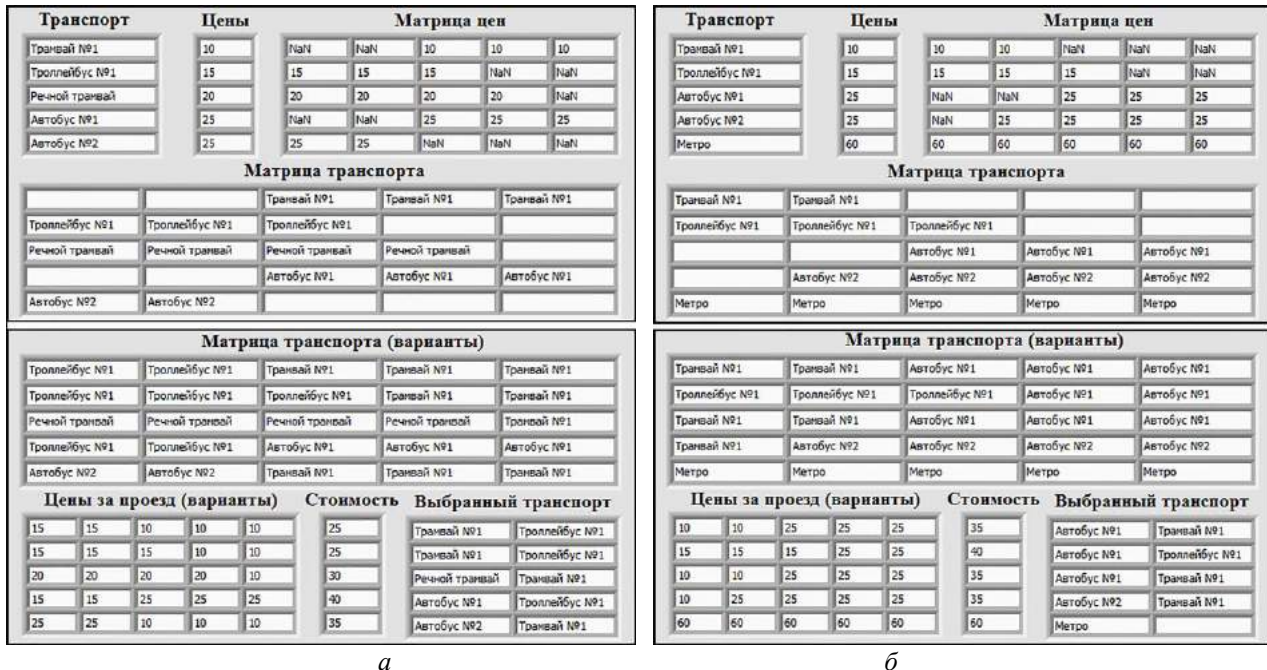


Рис. 4. Примеры тестирования алгоритма поиска способа проезда по маршруту с минимальной стоимостью с учетом сквозных вариантов осуществления поездки: а – при отсутствии вариантов; б – при наличии вариантов

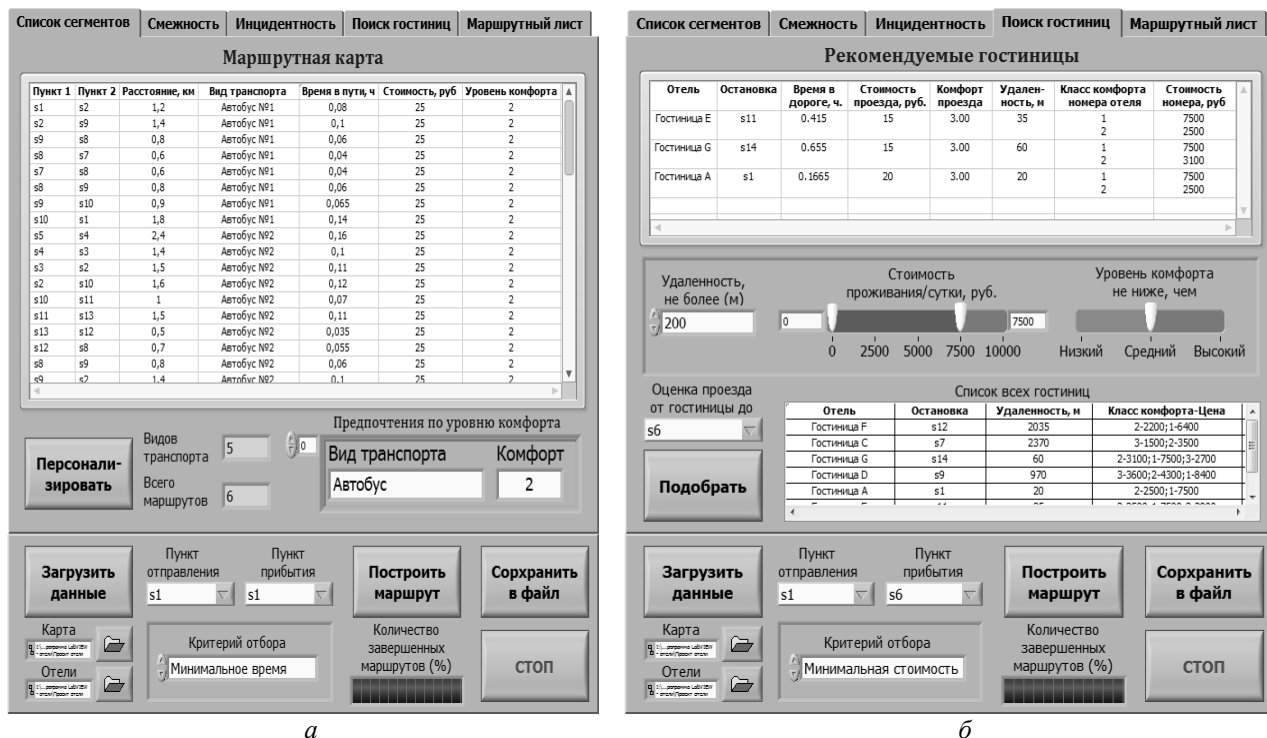


Рис. 5. Интерфейс пользователя разработанного программного комплекса: а – меню загрузки исходных данных и персонализации уровня комфорта; б – вкладка поиска наиболее подходящей гостиницы

сегментов имеет маршрут, и такое количество строк, сколько имеется доступных видов транспорта. Если в строке стоит числовое значение, то в данном сегменте есть возможность проследовать соответствующим видом транспорта. Величина NaN – нечисловое значение – означает отсутствие транспорта строки в сегменте. Используя данные из матрицы цен, проводим построение матрицы транспорта с присвоением соответствующего вида транспорта каждой ненулевой ячейке.

После выполнения алгоритма пустые в исходных таблицах ячейки становятся заполненными, и каждая строка образует вариант проезда по рассматриваемому маршруту. Выбор оптимального способа может быть осуществлен простой сортировкой строк по суммарной стоимости. Как видно, алгоритм обнаружил не просто оптимальный вариант, а несколько альтернативных способов проезда общественным транспортом (см. рис. 4).

При рассмотрении всех комбинаций пересадок с одного маршрутного вида транспорта на другой происходит увеличение количества производимых вычислений, при этом рост количества пересадок только увеличивает суммарную стоимость следования по маршруту. В связи с чем достоинством предложенного алгоритма является тот факт, что оптимизация происходит по относительно небольшому количеству найденных вариантов проезда – оно пропорционально числу рейсовых маршрутов и содержит альтернативные способы передвижения. В результате сокращается время определения оптимальных способов проезда по маршруту, а пользователь в дальнейшем полу-

чает сведения о всех вариантах проезда по минимально возможной стоимости.

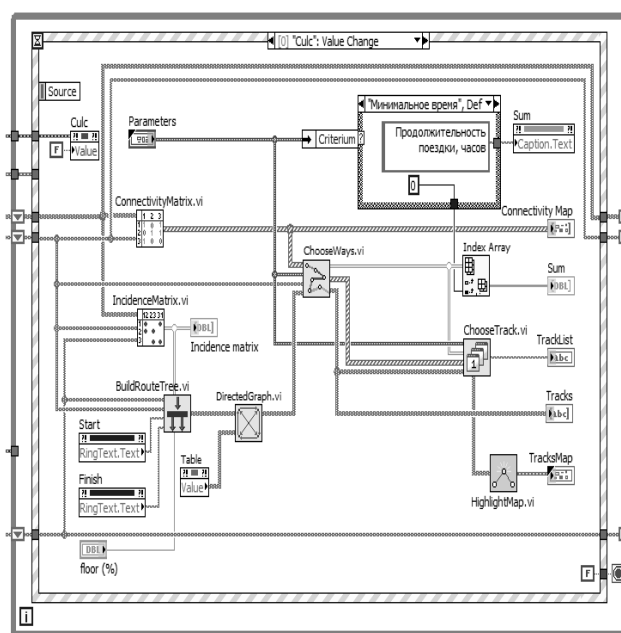
Программный комплекс маршрутизации в мультимодальной транспортной сети города

Для автоматизации процедуры поиска оптимального маршрута следования при помощи общественного транспорта в условиях города в зависимости от заданных критериев и места пребывания пассажира в среде «LabVIEW» разработан программный комплекс. Представлена лицевая панель программы, которая дает возможность загрузить исходные данные для дальнейшего выполнения всех разработанных алгоритмов (рис. 5). За эту операцию отвечает кнопка «Загрузить данные», она импортирует в программу два файла: «Map.txt» и «Hotels.txt». Таким образом в верхней половине окна можно просмотреть всю маршрутную карту, заданную в виде сегментов, их расстояние, вид транспорта, на котором можно проследовать данный сегмент, время в пути, стоимость проезда и уровень комфорта, заданный по умолчанию. Указанные значения соответствуют транспортной сети (рис. 5, а). Кнопкой «Персонализировать» пассажир имеет возможность изменить уровень комфорта в зависимости от своих предпочтений в пользу того или иного вида транспорта. Таким образом, построение оптимального маршрута будет происходить индивидуально для каждого пользователя программного комплекса.

Во вкладке «Поиск гостиниц» (рис. 5, б), отображаются все возможные варианты отелей. Помимо названия гостиницы имеется информация



а



б

Рис. 6. Построение оптимального маршрута



о близлежащем остановочном пункте, удаленность от береговой линии или центра города (можно задать и любой другой параметр, характеризующий расположение гостиницы), а также класс комфорта и соответствующую стоимость проживания. Задавая необходимые параметры «Удаленность не более (м)», «Стоимость проживания / сутки, руб.», «Уровень комфорта не ниже, чем...» пассажир получает список рекомендованных гостиниц, соответствующих установленным требованиям.

В случае деловой поездки поле «Оценка проезда от гостиницы» позволяет задать остановочный пункт, который находится ближе всего к месту работы, тем самым, в списке рекомендаций будет показано сначала минимальное время следования из гостиницы до данной точки. В случае, если целью поездки является туристический отдых, то можно принять во внимание расположение крупного торгово-развлекательного комплекса, и подбор отеля выполнять для близлежащей остановки. Опционально также сортировать результаты поиска гостиниц по минимальной стоимости поездки или уровню комфортабельности проезда (управляется полем «Критерий отбора»).

После выбора гостиницы пассажир владеет информацией об остановочном пункте, до которого необходимо добраться. В поле «Пункт отправления» и «Пункт прибытия» задаются начальные и конечные точки пути следования, пользователь программного комплекса выбирает критерий отбора маршрута «Минимальное время», «Минимальная стоимость», «Максимальный комфорт». Кнопка «Построить маршрут» запускает соответствующий программный модуль.

В работе приведен пример выполнения программы в соответствии с рассмотренным ранее алгоритмом (рис. 6, а). На вкладке «Маршрутный лист» отображается таблица всех возможных маршрутов от точки отправления s5 до места назначения s9, а также указан самый недорогой из них.

В зависимости от выбранного критерия отбора построения пути в правой части окна показано суммарное значение данного параметра отбора (подпись заменяется автоматически). Ползунок «Количество завершенных маршрутов (%)» позволяет регулировать процент заполненности «Таблицы маршрутов» завершенными вариантами. Устанавливая низкий пороговый уровень, можно получить список маршрутов только с небольшим количеством остановочных пунктов.

В поле «Маршрутный лист» выдается информация о найденном оптимальном маршруте, по которому необходимо проследовать, чтобы до-

стичь точки назначения. Также предоставляется справочная информация о видах транспорта (в случае если оптимальный маршрут строится с использованием мультимодальной пассажирской перевозки), время в пути, общая стоимость перевозки и средний класс комфорта на протяжении всей поездки. Полученный маршрутный лист можно экспортировать в текстовый файл кнопкой «Сохранить в файл» для дальнейшей распечатки.

Приведен фрагмент главной программы, отвечающий за поиск оптимального маршрута (рис. 6, б). Благодаря многоуровневой модульной структуре программа легко модернизируется путем изменения имеющихся или добавления новых блоков. Гибкость программного комплекса позволяет использовать основной функционал для решения и других схожих прикладных задач. Например, вместо отелей можно задавать кафе и рестораны, а маршрутный лист формировать для самого близко расположенного из них, исходя из текущего места нахождения пассажира.

Заключение

Разработанный программный комплекс позволяет найти персонализированный и оптимальный маршрут следования пассажира от точки отправления до места назначения. Отличительной особенностью является его применимость для условий городской среды, а также возможность использования не только в туристических или деловых поездках, но и вообще в повседневной жизни граждан. В представленном программном комплексе имеется возможность заменить отели различными культурно-массовыми центрами, достопримечательностями, ресторанами и т. д. Привязка всех этих мест к мультимодальной пассажирской транспортной сети позволит использовать программу без существенных изменений.

Результаты имитационного моделирования показали работоспособность алгоритма. Использование текстовых форматов хранения переменных в программе позволяет решать задачу маршрутизации для произвольно заданных названий пунктов передвижения. Обозначенные критерии построения маршрута в многослойной мультимодальной пассажирской транспортной сети позволяют предложить уникальный вариант, подходящий конкретному пассажиру в зависимости от его предпочтений.

Перспективой развития решений в представленном программном комплексе может быть переход к реализации в качестве клиент-серверного приложения, что позволит организовать многопользовательский доступ к актуальной базе данных маршрутных сегментов.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кроль Н.В., Поletaev А.С., Упырь Р.Ю. Алгоритм маршрутизации и выбора оптимального пути следования в условиях мультимодальности перевозок // *Транспорт: наука, техника, управление*. 2018. № 8. С. 16–24.
2. Krol N.V., Poletaev A.S., Upry R.V. Automatization of Optimal Routing for Multimodal Passenger Transportations in Irkutsk Region // *Advances in Engineering Research*. 2018. Vol. 158. P. 207–211.
3. Свидетельство № 2018618895 Рос. Федерация. Программный модуль построения оптимального маршрута пассажирских перевозок в мультимодальной транспортной системе / Кроль Н.В., Поletaev А.С., Упырь Р.Ю. № 2018615709 ; заявл. 05.06.2018 ; опублик. 23.07.2018, Бюл. № 8.
4. Кравченко Е.А., Кравченко А.Е. Конкурентоспособность видов транспорта в курортной зоне на основе логистической теории качества транспортного обслуживания населения автобусным транспортом // *Международный журнал экспериментального образования*. 2015. № 8. С. 28–34.
5. Раюшкина А.А., Крашенинников А.В. Качество услуг городского пассажирского общественного транспорта – как критерий оценки его конкурентоспособности // *Изв. Волгоград. гос. техн. ун-та. Сер.: Наземные транспортные системы*. 2013. № 21. С. 86–88.
6. Сигитов Т.М., Якунина А.В., Хазиев Р.Р. Ключевые направления повышения конкурентоспособности предприятий пассажирского транспорта // *Евразийское научное объединение*. 2015. № 7. С. 69–71.
7. Пашкова А.С., Иванков А.Н., Гозбенко В.Е. Прогноз спроса на пассажирские перевозки с сегментированием по типам автотранспорта // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2008. № 2. С. 150–153.
8. Краковский Ю.М., Селиванов А.С. Выбор существенного варианта пассажирских перевозок с использованием методов ранжирования // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2012. № 2. С. 171–174.
9. Михайлов А.Ю., Шаров М.И. К вопросу развития современной системы критериев оценки качества функционирования общественного пассажирского транспорта // *Изв. Волгоград. гос. техн. ун-та*. 2014. Т. 9, № 19 (146). С. 64–66.
10. Крипак М.Н., Гозбенко В.Е., Колесник А.И. Оптимизация структуры транспорта как мера повышения эффективности функционирования системы городского пассажирского транспорта // *Сб. науч. тр. Ангарск. гос. техн. ун-та. Ангарск : Изд-во АНГТУ*, 2013. С. 229–232.
11. Шаров М.И., Михайлов А.Ю., Ковалева Т.С. Оценка надежности работы городского пассажирского транспорта в Иркутске // *Вестн. ИрГТУ*. 2012. Т. 68. № 9. С. 174–178.
12. Шаров М.И., Михайлов А.Ю., Дученкова А.В. Пример оценки транспортной доступности с использованием программного продукта РТV «VISUM» // *Изв. вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2013. № 1 (4). С. 133–138.
13. Brands T., van Berkum E.C. Performance of a Genetic Algorithm for Solving the Multi-Objective, Multimodal Transportation Network Design Problem // *International Journal of Transportation*. 2014. Vol. 2, № 1. P. 1–20.
14. Ferrell C.E., Carroll M., Appleyard B., Reinke D., Ashiabor S., Dowling R., Levinson H.S., Deakin E., and Cervero R. Reinventing the Urban Interstate: A New Paradigm for Multimodal Corridors, Transportation Research Board. Washington, DC: The National Academies Press. 2011. 148 p.
15. Повышение эффективности функционирования транспортной сети городского пассажирского транспорта путем применения автоматизации модели выбора оптимального подвижного состава / В.Е. Гозбенко и др. // *Современные технологии Системный анализ. Моделирование*. 2017. № 2. С. 203–208.
16. Кроль Н.В., Давыдова Н.В., Упырь Р.Ю. К вопросу организации мультимодальных пассажирских перевозок как основы туристического бизнеса в восточной Сибири // *Транспорт – 2015 : сб. трудов междунар. науч.-практ. конф. Ростов, 2015. Ч. 1. С. 135–137*.
17. Перспективы развития мультимодальных пассажирских перевозок в Монголии / И.П. Меркулова и др. : *электрон. науч. журн. // Молодая наука Сибири*. 2018. № 2 (2). С. 1–5. URL: <http://mnv.igups.ru/en/node/155> (Дата обращения 18.04.2019).
18. Елисеев С.В. Современное состояние разработок в области транспортной динамики / С.В. Елисеев, Р.Ю. Упырь, В.Е. Гозбенко. Иркутск. 2009. 128 с. Деп. в ВИНИТИ РАН 27.11.2009, № 739-B2009.

REFERENCES

1. Krol' N.V., Poletaev A.S., Upry' R.Yu. Algorithm marshrutizatsii i vybora optimal'nogo puti sledovaniya v usloviyakh mul'timodal'nosti perezozok [Algorithm of routing and choosing the optimal route in the transportation multimodality conditions]. *Transport: Nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2018. No. 8. Pp. 16–24.
2. Krol N.V., Poletaev A.S., Upry R.V. Automatization of Optimal Routing for Multimodal Passenger Transportations in Irkutsk Region. *Advances in Engineering Research*, 2018. Vol. 158. Pp. 207–211.
3. Krol' N.V., Poletaev A.S., Upry' R.Yu. *Programmnyi modul' postroeniya optimal'nogo marshruta passazhirskikh perezozok v mul'timodal'noi transportnoi sisteme* [Program module for constructing the optimal route for passenger transportation in a multimodal transport system]. Certificate No. 2018618895 RF No. 2018615709 ; applied 05.06.2018 ; publ. 23.07.2018, Bull. No. 8.
4. Kravchenko E.A., Kravchenko A.E. Konkurentosposobnost' vidov transporta v kurortnoi zone na osnove logisticheskoi teorii kachestva transportnogo obsluzhivaniya naseleniya avtobusnym transportom [The competitiveness of modes of transport in the resort area on the basis of the logistic theory of the quality of transport services to the population by bus transport]. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya* [International Journal of Experimental Education], 2015. No. 8. Pp. 28–34.
5. Rayushkina A.A., Krasheninnikov A.V. Kachestvo uslug gorodskogo passazhirskogo obshchestvennogo transporta – kak kriterii otsenki ego konkurentosposobnosti [The quality of urban passenger public transport services as a criterion for assessing its competitiveness]. *Izv. Volgograd. gos. tekhn. un-ta. Ser.: Nazemnye transportnye sistemy* [News of Volgograd state tech. un-ty. Ser.: Ground transportation systems], 2013. No. 21. Pp. 86–88.
6. Sigitov T.M., Yakunina A.V., Khaziev R.R. Klyucheveye napravleniya povysheniya konkurentosposobnosti predpriyatii passazhirskogo transporta [Key areas for improving the competitiveness of passenger transport enterprises]. *Evraziyskoe nauchnoe ob"edinenie* [Eurasian Scientific Association], 2015. No. 7. Pp. 69–71.
7. Pashkova A.S., Ivankov A.N., Gozbenko V.E. Prognoz sprosa na passazhirskie perezozki s segmentirovaniem po tipam avtotransporta [Forecast of demand for passenger traffic with segmentation by type of motor transport]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2008. No. 2. Pp. 150–153.
8. Krakovskii Yu.M., Selivanov A.S. Vybor sushchestvennogo varianta passazhirskikh perezozok s ispol'zovaniem metodov ranzhirvaniya [The choice of a significant option for passenger traffic using ranking methods]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2012. No. 2. Pp. 171–174.



9. Mikhailov A.Yu., Sharov M.I. K voprosu razvitiya sovremennoi sistemy kriteriev otsenki kachestva funktsionirovaniya obshchestvennogo passazhirskogo transporta [On the issue of the development of a modern system of criteria for assessing the quality of public passenger transport]. *Izv. Volgograd. gos. tekhn. un-ta* [News of Volgograd state tech. un-ty], 2014. Vol. 9, No. 19 (146). Pp. 64–66.
10. Kripak M.N., Gozbenko V.E., Kolesnik A.I. Optimizatsiya struktury transporta kak mera povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta [Optimization of the structure of transport as a measure to improve the efficiency of the urban passenger transport system]. *Sb. nauch. tr. Angarsk. gos. tekhn. un-ta* [Proc. of Angarsk state tech. un-ty]. Angarsk: AnGTU Publ., 2013. Pp. 229–232.
11. Sharov M.I., Mikhailov A.Yu., Kovaleva T.S. Otsenka nadezhnosti raboty gorodskogo passazhirskogo transporta v Irkutske [Evaluation of the reliability of urban passenger transport in Irkutsk]. *Vestn. IrGTU* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2012. Vol. 68. No. 9. Pp. 174–178.
12. Sharov M.I., Mikhailov A.Yu., Duchenkova A.V. Primer otsenki transportnoi dostupnosti s ispol'zovaniem programmno produkta PTV «VISUM» [An example of assessing transport accessibility using the PTV software "VISUM"]. *Izv. vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* [Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate], 2013. No. 1 (4). Pp. 133–138.
13. Brands T., van Berkum E.C. Performance of a Genetic Algorithm for Solving the Multi-Objective, Multimodal Transportation Network Design Problem. *International Journal of Transportation*, 2014. Vol. 2, No. 1. Pp. 1–20.
14. Ferrell C.E., Carroll M., Appleyard B., Reinke D., Ashiabor S., Dowling R., Levinson H.S., Deakin E., and Cervero R. Reinventing the urban interstate: a new paradigm for multimodal corridors, transportation research board. Washington, DC: The National Academies Press, 2011. 148 p.
15. Gozbenko V.E. et al. Povyszenie effektivnosti funktsionirovaniya transportnoi seti gorodskogo passazhirskogo transporta putem primeneniya avtomatizatsii modeli vybora optimal'nogo podvizhnogo sostava [Improving the efficiency of the urban passenger transport network by applying the automation model for selecting the optimal rolling stock]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2017. No. 2. Pp. 203–208.
16. Krol' N.V., Davydova N.V., Upyr' R.Yu. K voprosu organizatsii mul'timodal'nykh passazhirskikh perevozok kak osnovy turistskogo biznesa v Vostochnoi Sibiri [On the organization of multimodal passenger transportation as the basis of the tourist business in Eastern Siberia]. *Transport – 2015 : sb. trudov mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Transport - 2015: Coll. of works of the Intern. scientific and practical conf.]. Rostov, 2015. Part 1. Pp. 135–137.
17. Merkulova I.P. et al. Perspektivy razvitiya mul'timodal'nykh passazhirskikh perevozok v Mongolii : elektron. nauch. zhurn. [Prospects for the development of multimodal passenger traffic in Mongolia: an electron. scientific journal]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young science of Siberia], 2018. No. 2 (2). Pp. 1–5. URL: <http://mnv.irkups.ru/en/node/155> (Access date 18.04.2019).
18. Eliseev S.V., Upyr' R.Yu., Gozbenko V.E. Sovremennoe sostoyanie razrabotok v oblasti transportnoi dinamiki [The current state of developments in the field of transport dynamics]. Irkutsk. 2009. 128 p. A manuscript deposited in VINITI RAN 27.11.2009, No. 739-V2009.

Информация об авторах

Authors

Кроль Никита Витальевич – аспирант кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: krolnikitav@mail.ru

Поletaев Александр Сергеевич – программист отдела информационно-измерительных систем, магистрант кафедры радиоэлектроники и телекоммуникационных систем, Институт высоких технологий, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: sardaukar9@yandex.ru

Упырь Роман Юрьевич – к. т. н., доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: upyr.roman@gmail.com

Дудакова Анастасия Владимировна – к. т. н., доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: dunas1@yandex.ru

Nikita Vital'evich Krol' – Ph.D. student of the Subdepartment of Operational Control, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: krol'nikitav@mail.ru

Aleksandr Sergeevich Poletaev – programmer of the Subdepartment of Information-Measuring Systems, Master's degree student of the Subdepartment of Radioelectronics and Telecommunication Systems, Institute of High Technologies, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: sardaukar9@yandex.ru

Roman Yur'evich Upyr' – Ph.D. of Engineering Science, Assoc. Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: upyr.roman@gmail.com

Anastasiya Vladimirovna Dudakova – Ph.D. of Engineering Science, Assoc. Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: dunas1@yandex.ru

Для цитирования

For citation

Кроль Н. В. Технология построения оптимального маршрута при организации мультимодальных пассажирских перевозок с учетом выбора места пребывания / Н. В. Кроль, А. С. Поletaев, Р. Ю. Упырь, А. В. Дудакова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 62, № 2. – С. 109–118. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).109–118

Krol N. V., Poletaev A. S., Upyr R. Yu., Dudakova A. V. Tehnologiya postroeniya optimal'nogo marshruta pri organizatsii multimodalnykh passazhirskikh perevozok s uchedom vybora mesta prebyvaniya [A Technology of the Optimal Route Searching in Multimodal Passenger Transportation Systems with Consideration for a Place to Stay]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 62, No. 2, pp. 109–118. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).109–118