

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ КРУПНЫХ И КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ: АКТУАЛЬНОСТЬ И ПОДХОДЫ

Ю.А. Колебер

ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена анализу научных разработок в области информационного обеспечения задач оптимизации маршрутных сетей пассажирского транспорта общего пользования крупных и крупнейших городов. В настоящее время в науке уделяется недостаточное внимание формированию информационной базы по оптимизации городских маршрутных сетей.

Материалы и методы. Представлен анализ опыта оптимизации городских маршрутных сетей, на основе которого выявлены современные оптимизационные подходы, на которые должно быть направлено формируемое информационное обеспечение. Отражена типовая исходная информация к процессу оптимизации городских маршрутных сетей в качественных и количественных показателях, используемая проектировщиками маршрутной сети. Наиболее трудоемкой среди исходной информации является матрица пассажирских корреспонденций, методы получения которой на сегодняшний день недостаточно проработаны. Рассмотрены проблемы формирования матрицы пассажирских корреспонденций для крупных и крупнейших городов.

Результаты. Обоснована актуальность формирования методики информационного обеспечения задач оптимизации маршрутных сетей пассажирского транспорта общего пользования крупных и крупнейших городов, а в рамках этой методики – разработка методов получения матрицы корреспонденций для крупных и крупнейших городов. Эта матрица должна содержать все виды городских передвижений по их целям, с детализацией корреспонденций с точностью до остановочного пункта и обеспечивать приемлемый уровень погрешности результатов. Выявлены цели и направления для дальнейших исследований в области информационного обеспечения задач оптимизации маршрутных сетей пассажирского транспорта общего пользования крупных и крупнейших городов.

Обсуждение и заключения. Результаты исследования могут быть использованы в качестве основы для научных разработок в исследуемой области, которые должны внести значительный вклад в повышение эффективности процесса оптимизации городских маршрутных сетей и качества транспортного обслуживания населения, в частности для крупных и крупнейших городов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: городская маршрутная сеть, пассажирский транспорт общего пользования, информационное обеспечение, матрица корреспонденций, информационная модель, пассажирский поток, транспортная сеть, остановочный пункт; подвижной состав.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в силу многих сложившихся факторов в сфере пассажирского транспорта общего пользования (ПТОП) многих российских городов возник ряд существенных проблем, препятствующих развитию городских транспортных систем. Особенно это касается таких категорий городов, как крупные и крупнейшие, что связано в первую очередь с отставанием развития транспортной систе-

мы от стремительной динамики всех сфер жизнедеятельности и масштабами пассажирских перевозок в данных городах. Особенно остро стоит проблема оптимизации городских маршрутных сетей (МС). Как правило, эффективность ее решения зависит в т.ч. от полноты и точности исходных данных для решения подобных задач. Однако на сегодняшний день отсутствуют обоснованные подходы к методам получения информации, требующейся для процесса оптимизации МС.

Информационное обеспечение задач по оптимизации МС рассматривается в работах [34, 36, 37, 45]. В то же время в отмеченных работах описывается лишь некий, далеко не полный набор исходных данных, требующийся для проектирования МС.

Цель статьи – обоснование актуальности и обзор современных подходов в области формирования научных и практических разработок по информационному обеспечению задач оптимизации городских МС ПТОП, а также выявление направлений для дальнейших исследований в данной области, которые могут быть полезны в процессе проектирования городских МС ПТОП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Прежде чем говорить о системном формировании информационной базы по оптимизации МС, необходимо проанализировать подходы и модели, которые применяются для этого процесса.

Разработкой методов оптимизации МС ученые занимаются уже более ста лет. Первые работы по проектированию МС ориентированы главным образом на специфику градостроительного проектирования и планировку городов [1, 19, 20, 31]. В них отсутствует формализованная математическая постановка и четкие рекомендации по проектированию МС, однако именно эти работы явились основой для дальнейшего развития научных разработок в области совершенствования ПТОП.

В начале 60-х гг. XX века в Государственном научно-исследовательском институте автомобильного транспорта (НИИАТ) под руководством Б.Л. Геронимуса была разработана качественно новая «Методика определения оптимальной схемы автомобильных маршрутов» [8]. Это была первая работа, положившая начало новому этапу в развитии методов оптимизации МС. Впервые получили начало своего развития прикладные экономико-математические методы проектирования МС, которые стали реализовываться на электронно-вычислительных машинах.

В 1965 г. Б.Л. Геронимус с коллегами В.А. Паршиковым и А.И. Егоровой предложили качественно новую методику проектирования городских маршрутов автобусного транспорта [9]. Построение маршрутов предлагается вести на кратчайших по времени путях, связывающих транспортные микрорайоны города. Оптимизация заключается в нахождении минимума совокупных затрат времени пассажиров на передвижения. При этом авторами

сформирован перечень ограничений для оптимизационного процесса, а также предполагается, что ряд априорных маршрутов будет включен в проектируемую МС. Решать данную оптимизационную задачу предлагается с использованием эвристического метода, направленного перебора вариантов, предложенного В.А. Паршиковым [29, 30]. При этом в процессе оптимизации определяется МК между микрорайонами города методом анкетного обследования, который дает достаточно хорошие результаты. В 1968 г. разработанная методика была реализована на ЭВМ Урал-2.

В 1966 г. Д.Д. Джумаев (МАДИ) для облегчения процесса направленного перебора вариантов МС предложил метод комбинаторного анализа [15], заключающийся в целенаправленном отборе вариантов МС посредством их сравнения между собой по определенным критериям.

Стоит отметить, что описанные методы не учитывают фактор привлекательности маршрутов того или иного вида транспорта в процессе распределения корреспонденций по путям следования. Кроме того, несовершенство первых ЭВМ не позволяло должным образом задать параметры и критерии оптимизационного процесса.

В 1977 г. В.В. Яворский и И.П. Макаров впервые предложили формировать избыточную совокупность маршрутов (в МС включаются только достаточно рациональные маршруты из всех возможных вариантов) с дальнейшим их анализом и корректировкой до момента достижения заданного критерия оптимальности [25]. Недостаток предложенного метода заключается в том, что объединение микрорайонов на первом этапе проектирования МС по критерию средней интенсивности пассажиропотока (ПП) между ними не совсем учитывает технологические особенности прокладываемых маршрутов и взаимное расположение микрорайонов на территории города. В результате могут получиться маршруты с большим коэффициентом непрямолинейности.

В 1983 г. С.Ю. Ольховский разработал многоэтапный итерационный метод проектирования МС с подробными математическими моделями и алгоритмами. Конкретно было предложено четыре этапа для достижения цели оптимального варианта МС. На первом этапе формируется множество возможных маршрутов, удовлетворяющих заданным технологическим ограничениям. На втором этапе из полученного множества возможных маршрутов формируется рациональная совокуп-

ность по критерию максимизации суммарной на МС пассажиронапряженности беспересадочных сообщений. На третьем этапе проектируются альтернативные варианты МС – кандидаты. При этом учитывается прежде всего количество пассажиров, которые могут совершать передвижения без пересадок. На четвертом этапе осуществляется анализ сформированных вариантов МС по широкому набору показателей и отбор наилучшего из них.

В 1990-х гг. П.Ф. Горбачев [13], В.К. Доля [16] и другие занимались общими вопросами совершенствования МС [5].

Разработки последних лет в области оптимизации городских МС ориентированы главным образом на принцип системности, учет факторов неопределенности и формирование комплексного набора показателей качества перевозок [38, 43, 46]. Так, в работе [38] разработана структура показателей качества транспортного обслуживания пассажиров, которая способна учитывать как объективные нужды пассажиров, так и имеющиеся возможности по их удовлетворению с учетом трудовых, финансовых и др. ресурсов. Авторы работы [43] предлагают формировать МС с учетом основных принципов системного подхода. М.Р. Якимовым в работе [46] разработана «многоуровневая система показателей оценки качества» функционирования городских транспортных систем, при этом набор показателей оценки качества значительно расширен автором.

Стали появляться модели оптимизации МС, позволяющие учитывать противоположные интересы участников городской системы ПТОП [22, 48, 50]. Например, в работе [22] в качестве критерия, учитывающего противоположные интересы участников городской системы ПТОП, определяют плотность ПП на исследуемом участке дороги. Максимизация этого критерия, по мнению авторов работы, ведет к сокращению уровня пересадочности, что выгодно для пассажира, и в то же время к увеличению ПП, что увеличивает прибыль перевозчика.

Эвристические методы маршрутизации, получившие развитие в начале 60-х гг., в настоящее время стали классическими, поскольку некоторые авторы уже предлагают метаэвристические подходы проектированию МС [21, 22]. В работе [22] предложен метаэвристический алгоритм муравьиных колоний.

Так или иначе, современные подходы к оптимизации МС ориентированы на наличие маршрутных корреспонденций и возможность их распределения по путям следования маршру-

тов. Вопросам распределения маршрутных корреспонденций на МС посвящено достаточное количество трудов ученых [12, 14, 17, 28, 35] и др. Их анализ позволяет судить о наличии множества параметров (факторов), непосредственно влияющих на выбор пассажиром пути следования: временные затраты на поездку, транспортный тариф, динамический коэффициент использования вместимости, вид транспорта, скорость сообщения, количество пересадок, провозные возможности альтернативных маршрутов, интервал движения ПС ПТОП. Более того, на выбор пассажиром пути следования оказывает влияние социальный («человеческий») фактор, что обуславливает формирование вероятностной функции привлекательности маршрутов.

Таким образом, современные подходы к оптимизации МС ориентированы на процедуру перебора множества возможных вариантов МС (направленная оптимизационная процедура). При этом должны формироваться множество возможных (несколько тысяч) вариантов МС, а из них – происходить выбор наилучшего варианта, обеспечивающего улучшение критерия оптимизации. Должен присутствовать такого рода подход, при котором происходит распределение корреспонденций по путям следования маршрутов и варианты этого распределения. С учетом отмеченных подходов к проектированию МС и перечисленных параметров (факторов), влияющих на выбор пассажиром пути следования, должен подбираться набор необходимых исходных данных (информационное обеспечение) для процесса оптимизации городских МС ПТОП.

Среди этого информационного обеспечения – количественные показатели, которые участвуют непосредственно в расчетах, и, с другой стороны, качественная информация, которая формирует некоторое мировоззрение о конкретном объекте транспортной системы города.

В процессе формирования информационного обеспечения задач оптимизации МС ПТОП для крупных и крупнейших городов разработчики применяют разные подходы, но все они вне зависимости от используемых методов используют следующий набор исходных данных:

1. Информация о городе: численность населения, его структура, распределение объектов приложения труда, количество, размещение и «емкость» объектов приложения труда, территориальные, климатические, географические, геометрические, экономические и другие осо-

бенности города, уровень автомобилизации и т.д. Подобного рода информация необходима для формирования общего представления проектировщиков МС о транспортной системе города, качественного анализа состояния города и его дальнейшего развития, в т. ч. с учетом Генерального плана.

2. Транспортная сеть (ТС), заданная в виде графов с различным уровнем детализации, также может оцениваться и состояние дорожной сети города на качественном уровне – в большей степени для оценки возможного развития ТС с альтернативой формирования на исследуемых участках маршрутов. В конечном итоге проектировщикам необходим граф ТС города $G(Z, U)$, вершинами Z которого являются реальные и условные транспортные узлы, а ребрами U – участки ТС, по которым возможно движение ПТОП. Именно по графу ТС города строятся маршруты ПТОП. Как правило, граф ТС города получают путем использования геоинформационных систем.

3. Подвижной состав (ПС) ПТОП: его количество, структура по видам транспорта и по типам вместимости. Эти данные количественного характера необходимы для учета в качестве ресурсных ограничений при распределении корреспонденций на МС и формировании набора показателей МС: динамический коэффициент использования вместимости, интервалы движения ПС ПТОП и др. Эксплуатационное состояние, уровень амортизации ПС ПТОП являются информацией качественного характера для оценки проектировщиком МС состояния парка пассажирского транспорта и выдвижения рекомендаций по его обновлению и реструктуризации.

4. Характеристика существующей МС города. Каждый маршрут характеризуется следующим набором количественных показателей: последовательностью транспортных узлов, через которые он проходит (в прямом и в обратном направлении набор транспортных узлов может не совпадать), вместимостью единицы ПС ПТОП, количеством ПС ПТОП, типом ПС ПТОП, видом ПТОП, эксплуатационной скоростью ПС ПТОП, скоростью сообщения, средним интервалом движения ПС ПТОП, протяженностью маршрута.

Подобного рода характеристики каждого городского маршрута можно получить, запросив сведения у Транспортной администрации города. Они важны для предварительной оценки эффективности существующих городских маршрутов.

5. Информация о маршрутных ПП суще-

ствующей МС необходима для следующих целей:

- возможность получения данных о входящих/выходящих пассажирах на каждом остановочном пункте (ОП) маршрута и таким образом получения информации о распределении ПП на перегонах маршрутов с дальнейшей возможностью оценки рациональности этих маршрутов;
- возможность получения исходных данных о «ёмкостях» условных транспортных микрорайонов, на которые разбивается город, по количеству отправок из них и прибытий в них пассажиров на ПТОП;
- данные о количестве передвижений, начинающихся и заканчивающихся в каждом микрорайоне, необходимы для моделирования межрайонных корреспонденций в городе;
- возможность получения следующих данных, позволяющих производить оценку маршрута: объем перевозок и его распределение по часам суток, средняя маршрутная дальность поездок пассажиров, динамический коэффициент использования вместимости, пассажиронапряженность маршрута, коэффициент сменяемости пассажиров за рейс, коэффициент неравномерности ПП по перегонам.

Существует множество методов обследования маршрутных ПП [42]. Все они группируются в следующие категории:

- натурные методы;
- анкетный метод;
- отчетно-статистический метод;
- автоматизированные методы с применением автоматических систем мониторинга пассажиропотоков [40];
- ведомственный метод [42].

Все существующие методы обследования ПП имеют как достоинства, так и недостатки. Проектировщики при выборе того или иного метода руководствуются имеющимися ресурсными возможностями и ограничениями.

6. Технологические ограничения на маршруты, а также ограничения, задаваемые проектировщиками МС. Технологическими ограничениями, как правило, являются: предел суммарной протяженности формируемых маршрутов, минимальная длина формируемого маршрута, максимальная длина формируемого маршрута, задание ОП (транспортных узлов), в которых возможно размещение начально-конечных пунктов маршрутов (за основу берется существующее размещение конечных ОП), участки ТС, на которых возможно движение электрического транспорта. Дополнительные ограничения, задаваемые

проектировщиками МС, зависят от используемого подхода и оптимизационной модели. В частности, это ограничения самой математической модели оптимизации.

7. МК, являющаяся моделью некой усредненной суточной (для будних дней) потребности населения города в передвижениях на ПТОП – $A = \|a_{ij}\|; i, j = \overline{1, n}$, где $a_{i,j}$ – потенциальное количество передвижений, совершаемых за сутки в городе с использованием ПТОП от i -го до j -го ОП (транспортного узла). Она будет главной информационной основой проектирования МС и необходима для целей точных количественных оценок МС и, собственно, для целей распределения маршрутных корреспонденций по путям следования в процессе разработки новой МС. Особенно остро стоит проблема формирования МК для крупных и крупнейших городов, что связано с большим объемом получаемой в результате информации. Поэтому проблемы, методы и направления получения МК для крупных и крупнейших городов более подробно рассмотрены ниже.

Вся вышеперечисленная исходная информация задается при проектировании любой МС. В то же время некий дополнительный набор исходных данных, получаемый путем проведения дополнительных обследований, формируется исходя из подходов и методов оптимизации, используемых проектировщиком.

Таким образом можно говорить о всем многообразии используемой для процесса оптимизации МС информации в явном и неявном виде, на количественном и качественном уровнях. В связи с этим представляется актуальным систематизация и определение необходимых методов ее получения.

Важнейшей и наиболее трудоемкой составляющей информационного обеспечения задач по оптимизации городской МС является МК, разработке которой посвящено достаточно большое количество трудов [2, 3, 4, 7, 10, 11, 18, 23, 24, 26, 32, 33, 39, 41, 44, 49]. Большая размерность получаемой информации в сочетании с необходимостью получения наиболее достоверного результата усложняет поиск эффективных решений в этой области. По результатам анализа трудов ученых [2, 3, 4, 7, 10, 11, 18, 23, 24, 26, 32, 33, 39, 41, 44, 51] методы формирования МК можно разбить на три группы:

- 1) методы математического моделирования;
- 2) натурные обследования;

3) комбинирование математического моделирования и натурных обследований.

Большинство авторов применяют методы математического моделирования для создания МК [2, 3, 7, 11, 23, 26, 39, 44, 51]. Чаще всего это гравитационные [2, 23, 26] и энтропийные [3, 7, 44] модели, которые предполагают, что формирование величины пассажирской корреспонденции аналогично термодинамическому процессу. Корреспонденция согласно таким моделям рассматривается как детерминированная величина. Результат такого моделирования – только один вариант МК, основанный только на одном факторе предпочтения.

Так, авторы работы [2] предлагают использовать гравитационную модель для расчета МК «с использованием различных функций тяготения для передвижений с различными целями».

Однако в настоящее время для расчета МК наибольшее распространение получили энтропийные модели, гравитационные же используются реже [3]. В работе [3] выбрана энтропийная модель. При этом приводятся два примера такой модели с разными параметрами, определяющими предпочтения участников движения: с параметром, определяющим средневзвешенную стоимость проезда на ПТОП, и с параметром, зависящим от средних затрат времени на реализацию передвижений. Авторами работы выбрана вторая модель.

В работе украинских ученых [11] в противовес гравитационной и энтропийной моделям предлагается интервальная концепция моделирования МК. Результатами расчетов по энтропийной и гравитационной моделям является только один вариант МК, в то время как, по мнению авторов, спрос на передвижения нельзя описать одной МК. Согласно предлагаемой интервальной концепции для получения достоверной оценки результатов рассматривается весь интервал возможных состояний спроса на передвижения и разработана методика формирования промежуточных состояний матрицы в рамках интервальной концепции. В результате расчетов при помощи равновероятностного метода получается МК. Однако недостаток данной методики заключается в том, что для больших городов увеличивается интервал достоверных состояний спроса пассажиров на передвижения и таким образом процесс моделирования всех вариантов МК становится практически невозможным. В работе [33] обосновывается эта идея путем моделирования количества возможных вариантов МК при различных ее размерностях

и отмечается необходимость дальнейших исследований, направленных на сужение интервала возможных состояний МК.

Некоторыми авторами используются статистические методы получения МК, в частности метод Фратара [39, 51], который предполагает определение пропорционального увеличения значения корреспонденции на основе ожидаемой степени изменения объема передвижений в общей совокупности по городу или отдельно между районами. Данный метод не позволяет дать точных результатов моделирования МК.

В то же время стоит отметить, что, так или иначе, по величине погрешности математические модели проигрывают обследованию спроса на транспортные передвижения (опросные, анкетные обследования). Согласно [33] в результате применения гравитационной или энтропийной модели ошибка может колебаться до 200–300%. Обследование спроса на транспортные передвижения для получения МК является достаточно трудоемким процессом. Таким образом возникает задача разработки комбинированного подхода к созданию МК с применением комплекса методов, обеспечивающих соблюдение условий минимального уровня погрешности результатов создания МК. При этом математическое моделирование МК может применяться лишь в качестве вспомогательного, но не основного и единственного метода. Более того, представляется интересным исследование на выявление величины погрешности математического моделирования МК в условиях большой размерности МК и соответственно при достаточно малых значениях средней корреспонденции, что характерно для крупных и крупнейших городов.

На сегодняшний день научные работы предполагают формирование МК с разбивкой города на условные транспортные микрорайоны [2, 3, 11, 27, 39, 47]. В то же время детализация корреспонденций с точностью до ОП отправления/прибытия более обоснована для цели получения адекватной и наиболее приближенной к реальности информации, в частности для получения маршрутных корреспонденций. Немногие разработчики принимают решения по детализации маршрутных корреспонденций с точностью до ОП. В 2000 г. в рамках научно-исследовательской работы «Разработка проекта оптимизации маршрутной сети города Нижневартовска» сотрудники СибАДИ практически приблизились к данной цели, а в 2008–2010 гг. уже при проектировании МС для г. Омска в рамках научно-ис-

следовательской работы «Мониторинг пассажиропотоков и совершенствование маршрутной сети пассажирского транспорта г. Омска» им удалось детализировать всю информацию о маршрутных корреспонденциях с точностью до каждого пассажирообразующего ОП. В 2014 г. авторы работы [26] также предложили в процессе формирования МК производить зонирование города относительно ОП. При этом описана возможность автоматизированного получения искомой информации [6]. Однако в работе [26] предлагается не точный, а вероятностный расчет количества пассажиров, пользующихся ПТОП и использующих для передвижений тот или иной ОП ПТОП.

Получение трудовой (учебной) МК с методологической точки зрения кажется достаточно понятным и прозрачным. Но и здесь существует множество нерешенных и алгоритмически не проработанных задач. В связи с развитием геоинформационных технологий и теории нечетких множеств в данном случае требуются дополнительные исследования и алгоритмизация реализации простых технологий, связанных с получением информации по трудовым и учебным передвижениям. В частности, представляется интересным исследование, связанное с созданием модели трудовой (учебной) МК на примере одного предприятия конкретной отрасли, имеющего несколько адресов приложения труда (несколько филиалов/территорий).

Более того, актуальным является направление на получение МК, содержащей несколько групп корреспонденций в зависимости от их цели (трудовые (учебные), культурно-бытовые, деловые) с использованием комбинированного подхода. Суть комбинированного подхода будет заключаться в применении различных методов для получения той или иной группы корреспонденций. Общая МК в результате будет являться суммой всех групп корреспонденций, полученных разными способами. В настоящее время методологические вопросы получения такой МК отсутствуют. Ученые в качестве основы для проектирования МК берут данные о трудовых передвижениях, являющихся определяющими в структуре городских передвижений, но не единственными. Итоговая МК должна содержать максимально все виды городских передвижений по их целям, а, следовательно, конечная информация должна быть более достоверна и приближена к реальным условиям передвижения населения по территории города.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Важнейшая задача – провести исследования, направленные на создание информационной модели, обеспечивающей оптимизацию МС города, а в рамках ее – задание на информационное обеспечение задач, которые можно было бы представить в виде методики. Эта методика базировалась бы на использовании частных методов получения информации по тем или иным вопросам транспортного обеспечения. Полученная информационная модель, как уже было отмечено выше, должна непременно ориентироваться на современные подходы к оптимизации МС ПТОП для крупных и крупнейших городов. Исходя из этого, а также на основании вышеизложенного анализа состояния вопросов в области формирования информационного обеспечения задач по оптимизации городской МС, можно сформулировать направления дальнейших исследований:

1. Формирование методики информационного обеспечения задач по оптимизации МС ПТОП для крупных и крупнейших городов.
2. Подробный анализ и оценка методов обследования ПП.
3. Подробный анализ методов и проблем получения МК для крупных и крупнейших городов.
4. Создание модели и алгоритма получения трудовой (учебной) МК на примере предприятия конкретной отрасли, имеющего несколько адресов приложения труда (несколько филиалов/территорий).
5. Исследование на выявление величины погрешности математического моделирования МК для крупных и крупнейших городов.
6. Формирование методики получения МК с применением комбинированного подхода.
7. Решение проблемы детализации корреспонденций с точностью до ОП ПТОП в условиях крупных и крупнейших городов.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика информационного обеспечения задач по оптимизации городских МС должна включать в себя совокупность отдельных методик получения необходимой информации, ключевой среди которых является методика формирования МК для крупных и крупнейших городов. Полученная МК должна представлять собой модель суточной потребности населения города в передвижениях на ПТОП, включать в себя всю совокупность передвижений населения по трудовым, учебным, деловым, культурно-бытовым и другим целям с исполь-

зованием ПТОП, а также она должна быть детализирована с точностью до ОП. При этом предполагается, что предложенная методика получения МК должна включать как использование натуральных методов обследования, так и математического моделирования, геоинформационных технологий и др.

Результаты проведенных в этой области исследований могут быть востребованы как разработчиками МС ПТОП, так и Транспортными администрациями городов в качестве типовой основы при формировании технических заданий на оптимизацию МС города.

Исследование должно внести значительный вклад в повышение эффективности проектируемых МС и качества транспортного обслуживания населения, особенно для крупных и крупнейших городов. Научная новизна исследования заключается в формировании комплексной, единой методики информационного обеспечения задач по оптимизации МС для крупных и крупнейших городов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А.П., Бронштейн Л.А., Поляков А.А., Городской пассажирский транспорт. М., 1939. 58 с.
2. Алиев А.С., Мазурин Д.С., Максимова Д.А., Швецов В.И. Структура комплексной модели транспортной системы г. Москвы: труды ИСА РАН. Том 65. 1/2015. С. 3-15.
3. Боровиков А.В., Каширский Д.Ю., Ульрих С.А., Ведяшкин В.И. Разработка эффективной матрицы корреспонденции транспортной сети г. Барнаула // Ползуновский вестник. 2013. № 4/3. С. 185-189.
4. Булычева Н. В., Федоров В. П. Расчет пассажиропотоков и оптимизация параметров маршрутных схем // Математические методы в управлении городскими транспортными системами. 1979. С. 65–90.
5. Бурлуцкий А.А. Обеспечение эффективности функционирования дорожной сети крупного города на основе учета ее взаимодействия с потоками пассажирского транспорта (на примере г. Томска) – дисс. ... канд. тех. наук: 05.23.11 / Бурлуцкий Андрей Александрович. Томск, 2015. 196 с.
6. Васильева А.Н., Мартынова Ю.А., Мартынов Я.А. Получение массива отправок пассажиров городского общественного транспорта на основе данных электронных карт: сб. тр. конф. «Молодежь и современные информационные технологии». 2013. С. 361-363.
7. Гасников А.В., Гасникова Е.В., Мендель М.А., Чепурченко К.В. Эволюционные выводы энтропийной модели расчета матрицы корреспонденций // Математическое моделирование. 2016. Том 28. № 4. С. 111-124.
8. Геронимус Б.Л. Методика определения оптимальной схемы автомобильных маршрутов. 1963.
9. Геронимус Б.Л., Егорова А.И., Паршиков В.А. Математическая методика определения схемы автобусных маршрутов в городах - в кн. Совершенствование планирования и организации автомобильных перевозок. М.: Транспорт, 1965. С. 43-79.
10. Гончаренко С.Ю. Современные проблемы моделирования матриц пассажирских корреспонденций в средних городах // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. / Темат. вып.: Новые решения в современных технологиях. Харьков: НТУ «ХПИ». 2013. № 56 (1029). С. 83-88.

11. Горбачев П. Ф., Россолов А. В., Костенко К. В. Интервальное моделирование спроса на трудовые передвижения в крупнейших городах // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2011. № 159. С. 248–253.
12. Горбачев, П. Ф., Копитков Д. М. Оцінка реакції пасажирів на час очікування міського пасажирського транспорту // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2008. № 31. С. 40–42.
13. Горбачев П.Ф., Доля В.К. Формирование рациональной схемы маршрутов пассажирского транспорта в крупнейших городах // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения, рекомендации для внедрения на АТ. Информ. сборник Мин-во автомоб. трансп. РСФСР. М.: ЦБНТИ. 1990. Вып. С. 8-12.
14. Грановский Б.И. Моделирование пассажирских потоков в транспортных системах // Итоги науки и техники «Автомобильный и городской транспорт». Том 11. М.: Изд-во ВИНТИ, 1986. С. 67–105.
15. Джумаев Д.Д. Исследование вопросов составления маршрутных схем автобусного транспорта в городах: дис. ... канд. техн. наук / Д.Д. Джумаев. М., 1966. – 229 с.
16. Доля В.К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок пассажиров в крупнейших городах: дис. ... докт. тех. наук/ Доля Виктор Константинович. М., 1993. 301 с.
17. Дубровский В.В., Горбачев П.Ф. Определение вероятности выбора пассажиром пути следования // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харків. 2001. № 2. С. 7 – 9.
18. Заблоцкий, Г.А. Методы расчета потоков пассажиров и транспорта в городах; под ред. А. Старинкевич. М.: ЦНТИ по гражд. строит. и архит., 1968. 92 с.
19. Закутин Н.Н. Организация трамвайных пассажирских перевозок. М.: Гострансиздат, 1938. 255 с.
20. Зильберталь Ф.Х. Трамвайное хозяйство. М.: Гострансиздат, 1932. 304 с.
21. Кочегурова Е.А., Мартынова Ю.А., Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений // Известия Томского политехнического университета. 2013. Том 323. № 5. С. 79-84.
22. Кочегурова Е.А., Мартынов Я.А., Мартынова Ю.А., Цапко С.Г. Алгоритм муравьиных колоний для задачи проектирования рациональных маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Вестник СибГУТИ. 2014. № 3. С. 89-100.
23. Кулакова И.М., Лебедева О.А., Восстановление и оптимизация матрицы корреспонденций транспортных перевозок в среде MATLAB // Вестник АГТА. 2014. № 8. С. 163-166.
24. Лебедева О.А. Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта общего пользования: дис. ... канд. тех. наук / Лебедева Ольга Анатольевна. Иркутск. 2014. 171 с.
25. Макаров И.П., Яворский В.В. Модели проектирования сети маршрутов городского пассажирского транспорта. в кн.: Моделирование процессов управления транспортными системами: тез. докл. Всесоюз. конф. Владивосток, 1977. С. 92-95.
26. Мартынова Ю.А., Мартынов Я.А. Расчет матрицы трудовых пассажирских корреспонденций на основе анализа геоданных электронных карт // Глобальный научный потенциал. 2014. № 12(45). С. 102-105.
27. Минкин И.К. Подготовка исходных данных для расчета матрицы корреспонденций (г. Суворов) // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. Вып. 6. Ч. 1. С. 108-112.
28. Нефедов, Н. А., Альберт Авуа Дж. Экспериментальное исследование вероятности выбора пассажиром маршрута следования // Восточно- Европейский журнал передовых технологий. 2014. Том 2. № 3 (68). С. 40–44.
29. Паршиков В.А. Определение оптимального размещения расчетной мощности элементов комплекса устройств. – в кн. Техничко-экономические вопросы развития транспорта: Труды конф. молодых специалистов. Кибернетика и транспортные процессы / ИКТП при Госплане СССР. М. 1963. С. 7-33.
30. Паршиков В.А. Приближенное решение комбинаторной задачи размещения комплекса устройств. – в кн. Материалы к конференции по опыту и перспективам применения математических методов и ЭВМ в планировании. Новосибирск, 1962. 8 с.
31. Поляков А.А. Развитие науки в области городских путей сообщения [Электронный ресурс]. URL : http://www.waksman.ru/Russian/Vehi_Polyakov.pdf (дата обращения: 02.02.2018).
32. Россолов А.В. Закономерности формирования спроса на услуги городского пассажирского транспорта // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. № 4-3(64). С. 8-10.
33. Россолов А.В., Любый Е.В. Определение уровня вариативности матрицы пассажирских корреспонденций // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. № 4(61). С. 43-47.
34. Сорокин С.В. Информационное обеспечение создания новой маршрутной сети г. Омска. Тюмень, 2010. 35 с.
35. Сорокин, С.В. Повышение эффективности функционирования систем пассажирского транспорта крупных городов на основе оптимизации распределения пассажиропотоков: дис...канд. экон. Наук / С.В. Сорокин; науч. рук. доцент С.Ю. Ольховский; СибАДИ. Омск, 2006. – 235 с.
36. Сорокин С.В., Жукова А.А. Информационное обеспечение работ по совершенствованию маршрутной сети // МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ» (К 85-ЛЕТИЮ ФГБОУ ВПО «СИБАДИ»). 2015. С. 248-252.
37. Сорокин С.В., Шаповал В.В. Формирование информационной базы для совершенствования маршрутной сети городского пассажирского транспорта г. Омска // Материалы Международной научно-практической конференции «ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА». 2010. С. 322-324.
38. Спирин И.В. Научные основы комплексной реструктуризации городского автобусного транспорта / И.В. Спирин // автореферат дисс. на соискание уч... степени докт.. техн.. наук. М.: 2007. 38 с.
39. Тарханова Н.В., Яценко О.А., Михайлов А.Ю. Восстановление матриц корреспонденций с использованием метода Фратара // Вестник ИрГТУ. 2013. № 6 (77). С. 121-127.
40. Таубкин Г.В., Коптелов О.Г., Быкова Г.П. Планирование перевозок по результатам обследования пассажиропотоков // Транспортное дело России. 2015. № 3. С. 154–155.
41. Трофимов С.П., Дружинина Н.Г., Трофимова О.Г. Моделирование пассажирских потоков городского общественного транспорта // Вестник Уральского института экономики, управления и права. 2015. № 4(33). С. 4-10.
42. Ульяновский И.А. Разработка методов организации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта на базе совершенствования методики обследования пассажиропотоков: дис. ... канд. тех. наук: Ульяновский Иван Александрович. Вологда. 2006. 160 С.
43. Федоров М.П., Ерихов М.М., Знаменский Д.Н. Системное обоснование критерия оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта // Автогосподственное предприятие. 2010. № 4. С. 32-34.

44. Шайхнурова А.Ф., Карамутдинова Г.Р., Губайдуллин И.М. Вычислительные методы расчета матрицы корреспонденций: труды Междунар. науч. конф. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. 529 с.

45. Шаповал В.В. Формирование информационной базы для решения задачи совершенствования маршрутной сети на примере г. Омска // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / СибАДИ. Омск: СибАДИ, 2010. С. 187-190.

46. Якимов М.Р. Научная методология формирования эффективной транспортной системы крупного города - дисс. ... д-р техн. наук: 05.22.01 / Якимов Михаил Ростиславович. М., 2011. 46с.

47. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография. М.: Логос. 2013. 181с.

48. Bachelet B., Yon L. Enhancing theoretical optimization solutions by coupling with simulation // Proceeding of the 1st OICMS, Clermont-Ferrand. France, 2005. P. 331-342.

49. Carrothers, G.A. An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction // J. American Instit. Planners. 1956. V. 22. P. 94-102.

50. Nallusamy R., Duaiswamy K., Dhanalaksmi R. Optimization of multiple vehicle routing problems using approximation algorithms // International Journal of Engineering Science and Technology. 2009. V. 1 (3). P. 129-135.

51. Fratar, T. J. Vehicular Trip Distribution by Successive Approximation // Traffic Quarter . 1954. № 8. pp. 53 – 65.

INFORMATION SUPPORT OF PUBLIC PASSENGER TRANSPORT NETWORK OPTIMIZATION IN MAJOR CITIES: RELEVANCE AND APPROACHES

Y. A. Kolber

ABSTRACT

Introduction. The article is devoted to the analysis of scientific developments in the sphere of the information support of public passenger transport networks' optimization in major cities. Currently, insufficient attention is paid to the infobase formation for the urban route networks' optimization.

Materials and methods. The article presents the analysis of the experience for optimization of urban route networks on the basis of identified modern optimization approaches, which should be directed to the generated information support. Typical initial information to process city route networks' optimization in qualitative and quantitative indicators, which is used by designers of the route network, is reflected. The most time-consuming among the initial information is the matrix of passenger correspondence, some methods of which are not sufficiently developed nowadays. The problems of forming passenger correspondence matrix for major cities are considered.

Results. Relevance of the information support methodology to public passenger transport route networks' optimization in major cities and on the basis of this methodology the correspondence matrix for major cities is substantiated. Therefore, this matrix should contain all types of urban movements, detailing correspondence to the stopping point and provide an acceptable level of results. Moreover, goals and directions for further research in the sphere of information management efficient for route networks' optimization of public passenger transport in major cities are identified.

Discussion and conclusion. The results of the investigation could be used as a basis for scientific research, which should make a significant contribution to improving the efficiency of the urban route networks' optimization and the quality of transport services for the population, in particular for major cities.

KEYWORDS: urban route network, public passenger transport, information support, correspondence matrix, information model, passenger flow, transport network, station, rolling-stock.

REFERENCES

1. Aleksandrov A.P., Bronshtejn L.A., Poljakov A.A. *Gorodskoj passazhirskij transport* [Urban passenger transport]. Moscow, 1939. 58 p.

2. Aliev A.S., Mazurin D.S., Maksimova D.A., Shvecov V.I. Struktura kompleksnoj modeli transportnoj sistemy g. Moscow [The structure of an integrated model of transport system of Moscow]: *Trudy ISA RAN*, Tom 65, 1/2015, pp. 3-15.

3. Borovikov A.V., Kashirskij D.Ju., Ul'rih S.A., Vedjashkin V.I. Razrabotka jeffektivnoj matricy korrespondencii transportnoj seti g. Barnaula [Development of an effective correspondence matrix of transport network in the city of Barnaul]. *Polzunovskij vestnik*, 2013, no. 4/3, pp. 185-189.

4. Bulycheva N.V., Fedorov V.P. Raschet passazhiropotokov i optimizacija parametrov marshrutnyh shem [Calculation of passenger traffic and optimization of the parameters of the routing schemes]. *Matematicheskie metody v upravlenii gorodskimi transportnymi sistemami*, 1979, pp. 65-90.

5. Burluckij A.A. Obespechenie jeffektivnosti funkcionirovaniya dorozhnoj seti krupnogo goroda na osnove ucheta ee vzaimodejstviya s potokami passazhirskogo transporta (na primere g. Tomska) [Ensuring the efficiency of functioning of the road network of a large city on the basis of its interaction with passenger transport flows (on the example of Tomsk)]. Diss. kand. teh. nauk. Tomsk, 2015. 196 p.

6. Vasil'eva A.N., Martynova Ju.A., Martynov Ja.A. Poluchenie massiva otpravlenij passazhirov gorodskogo obsh-

hestvennogo transporta na osnove dannyh jelektronnyh kart [Obtaining an array of departures of passengers of public transport on the basis of electronic maps]. *Sbornik trudov konferencii «Molodezh' i sovremennye informacionnye tehnologii»*, 2013, pp. 361-363.

7. Gasnikov A.V., Gasnikova E.V., Mendel' M.A., Cherpurchenko K.V. Jevoljucionnye vyvody jentropijnoj modeli rasheta matricy korrespondencij [Evolutionary conclusions of entropy model of correspondence matrix calculation]. *Matem. Modelirovanie*, 2016, Tom 28. no. 4, pp. 111-124.

8. Geronimus B.L. *Metodika opredelenija optimal'noj shemy avtomobil'nyh marshrutov* [The method of determining the optimal scheme road routes]. 1963.

9. Geronimus B.L., Egorova A.I., Parshikov V.A. Matematicheskaja metodika opredelenija shemy avtobusnyh marshrutov v gorodah [Mathematical methodology for determining the scheme of bus routes in cities]. V kn. *Sovershenstvovanie planirovaniya i organizacii avtomobil'nyh perevozok*, Moscow, Transport, 1965, pp. 43-79.

10. Goncharenko S.Ju. Sovremennye problemy modelirovaniya matric passazhirskih korrespondencij v srednih gorodah [Modern problems of passenger correspondence matrix modeling in medium-sized cities]. *Vestnik Nac. tehn. un-ta «HPI»*. Sb. nauch. tr. Temat. vyp. Novye reshenija v sovremennyh tehnologijah, Har'kov: NTU «HPI», 2013. no. 56 (1029), pp. 83-88.

11. Gorbachev P.F., Rossolov A.V., Kostenko K.V. Interval'noe modelirovanie sprosna na trudovye peredvizhenija v krupnejshih gorodah [Interval modeling of demand on the labor movement in the largest cities]. *Vestnik Shidnoukrains'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja*, 2011. no. 159, pp. 248-253.

12. Gorbachov, P.F., Kopitkov D.M. Ocinka reakcii pasazhira na chas ochikuvannja mis'kogo pasazhirs'kogo transportu [Evaluation of the reaction of the passenger on the waiting time of urban passenger transport]. *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2008, no. 31, pp. 40-42.

13. Gorbachev P.F., Dolja V.K. Formirovanie racional'noj shemy marshrutov passazhirskogo transporta v krupnejshih gorodah [Formation of a rational scheme of passenger transport routes in major cities]. *Peredovoj proizvodstvennyj opyt i nauchno-tehnicheskie dostizhenija, rekomendacii dlja vnedrenija na AT*. Inform. sbornik Min-vo avtomob. transp. RSFSR. Moscow, CBNTI. 1990, pp. 8-12.

14. Granovskij B.I. Modelirovanie passazhirskih potokov v transportnyh sistemah [Modelling of passenger flows in transport systems]. *Itogi nauki i tehniki «Avtomobil'nyj i gorodskoj transport»*. Tom 11. Moscow, Izd-vo VINITI. 1986, pp. 67-105.

15. Dzhumaev D.D. *Issledovanie voprosov sostavlenija marshrutnyh shem avtobusnogo transporta v gorodah* [Research of questions of drawing up route schemes of bus transport in the cities]. Dis. kand. tehn. nauk. Moscow, 1966. 229 p.

16. Dolja V.K. *Teoreticheskie osnovy i metody organizacii marshrutnyh avtobusnyh perevozok passazhirov v krupnejshih gorodah* [Theoretical bases and methods of organization of route bus transportation of passengers in the largest cities]. Dis. dokt. teh. nauk. Moscow, 1993. 301 p.

17. Dubrovskij V.V., Gorbachev P.F. *Opreделение вероятности выбора пассажиром пути следования. Информационно-керующие системы на железнодорожном транспорте* [The determination of the probability of a passenger to choose the route]. Harkiv, 2001. no. 2, pp. 7-9.

18. Zablackij, G. A. *Metody rascheta potokov passazhirov i transporta v gorodah* [Methods for calculating passenger and transport flows in cities]; pod red. A. Starinkevich. Moscow, CNTI po grazhd. stroit. i arhit., 1968. 92 p.

19. Zakutin N.N. *Organizacija tramvajnyh passazhirskih perevozok* [The organization of tram passenger transport]. Moscow, Gostranstehizdat, 1938. 255 p.

20. Zil'bertal' F.H. *Tramvajnoe hozjajstvo* [Tram economy]. Moscow, Gostransizdat, 1932. 304 p.

21. Kochegurova E.A., Martynova Ju.A., Optimizacija sostavlenija marshrutov obshhestvennogo transporta pri sozdanii avtomatizirovannoj sistemy podderzhki prinjatija reshenij [Optimization of drawing up routes of public transport during creation of the automated system of support of decision-making]. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, 2013, Tom 323, no. 5, pp. 79-84.

22. Kochegurova E.A., Martynov Ju.A., Martynova Ju.A., Capko S.G. Algoritm murav'inyh kolonij dlja zadachi proektirovaniya racional'nyh marshrutnyh setej gorodskogo passazhirskogo transporta [Algorithm of ant colonies for a problem of design of rational route networks of city passenger transport]. *Vestnik SibGUTi*, 2014, no. 3, pp. 89-100.

23. Kulakova I.M., Lebedeva O.A., Vosstanovlenie i optimizacija matricy korrespondencij transportnyh perevozok v srede MATLAB [Restoration and optimization of a matrix of correspondence of transport transportations in the environment of MATLAB]. *Vestnik AGTA*, 2014, no. 8, pp. 163-166.

24. Lebedeva O.A. *Sovershenstvovanie metodov monitoringa passazhiropotokov na marshrutah gorodskogo passazhirskogo transporta obshhego pol'zovanija* [Improvement of methods of monitoring of passenger traffic on routes of public city passenger transport]. Dis. kand. teh. nauk. Irkutsk, 2014. 171 p.

25. Makarov I.P., Javorskij V.V. Modeli proektirovaniya seti marshrutov gorodskogo passazhirskogo transporta [Models of design of network of routes of city passenger transport]. V kn. *Modelirovanie processov upravlenija transportnymi sistemami. Tez. dokl. Vsesojuzn. konf. Vladivostok*, 1977, pp. 92-95.

26. Martynova Ju.A., Martynov Ju.A. Raschet matricy trudovyh passazhirskih korrespondencij na osnove analiza geodannyh jelektronnyh kart [Calculation of a matrix of labor passenger correspondence on the basis of the analysis of geothese electronic cards]. *Global'nyj nauchnyj potencial*, 2014, no. 12(45), pp. 102-105.

27. Minkin I.K. Podgotovka ishodnyh dannyh dlja rascheta matricy korrespondencij (g. Suvorov) [Preparation of basic data for calculation of a matrix of correspondence (Suvorov)]. *Izvestija TulGU, Tehnicheskie nauki*, 2015, no. 6. Ch. 1, pp. 108-112.

28. Nefedov, N. A., Al'bert Avua Dzh. Jeksperimental'noe issledovanie verojatnosti vybora passazhirom marshruta sledovaniya [Pilot study of probability of the choice by the passenger of a route]. *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2014, Tom 2, no. 3 (68), pp. 40-44.

29. Parshikov V.A. *Opreделение оптимального размещения расчётной мощности элементов комплекса устройств* [Definition of optimum placement of settlement power of elements of a complex of devices]. V kn. *Tekhniko-jeconomicheskie voprosy razvitiya transporta. Trudy konf. molodyh specialistov. Kibernetika i transportnye processy. IKTP pri Gosplane SSSR*. Moscow, 1963. pp. 7-33.

30. Parshikov V.A. Priblizhennoe reshenie kombinatornoj zadachi razmeshhenija kompleksa ustrojstv [Approximate solution of a combinatory problem of placement of a complex of devices]. V kn. *Materialy k konferencii po opytu i perspektivam primeneniya matematicheskijh metodov i JeVM v planirovanii*. Novosibirsk, 1962. 8 p.

31. Poljakov A.A. Razvitie nauki v oblasti gorodskih putej soobshhenija [Development of science in the field of city means of communication] [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.waksmann.ru/Russian/Vehi/Polyakov.pdf> (accessed 02.02.2018).

32. Rossolov A.V. Zakonomernosti formirovaniya sprosna na uslugi gorodskogo passazhirskogo transporta [Regularities of formation of demand for services of city passenger transport]. *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2013, no. 4-3(64), pp. 8-10.

33. Rossolov A.V., Ljubyj E.V. *Opreделение уровня вариативности матрицы пассажирских корреспонденций* [Determina-

