

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ НАСЕЛЕНИЯ БОЛЬШИХ И СРЕДНИХ ГОРОДОВ

MODELS AND METHODS OF DECISION SUPPORT BY INFORMATION SYSTEM FOR URBAN TRANSPORTATION CONTROL IN MEDIUM AND BIG TOWNS

Yu. Volodina

Annotation

Complex low-cost method of investigation and improvement of quality of urban transportation is given. The method can be used in conditions of medium and big towns in Russia. Possibility of needful transportation flow is used as optimization criteria. All calculations are based on open datasets. Changes of exist information system for urban transport control based on the method leads to better satisfaction of citizens in respect of urban transport service.

Keywords: Urban transport, modeling, control.

Володина Юлия Игоревна

Ассистент, каф. автоматизации технологических процессов, Березниковский филиал ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Аннотация

Представлена комплексная методика малозатратного исследования и улучшения качества транспортного обслуживания населения. Методика может быть применена в условиях больших и средних городов России. В качестве критерия оптимальности используется возможность реализации потребных пассажиропотоков города. Все расчеты производятся на основе открытых данных. В результате модификации существующей информационной системы расчета расписаний движения в соответствии с предложенной методикой удалось добиться более полного удовлетворения потребностей населения в обеспечении городским общественным транспортом.

Ключевые слова:

Городской общественный транспорт, моделирование, управление.

Качество работы органов местного самоуправления оценивается населением, в т.ч., по уровню транспортного обеспечения. Техническая система городского общественного транспорта (ГОТ), удовлетворяя потребности населения в передвижениях, обеспечивает функционирование экономики города и способствует увеличению свободного времени людей, предоставляя им возможность пользоваться услугами территориально рассредоточенных объектов производственной и социальной структуры. Указом Президента от 28.04.2008 № 607 "Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов" [29] и уточняющим его постановлением Правительства РФ от 17.12.2012 № 1317 [25] в качестве одного из критериев оценки населением эффективности деятельности руководителей органов местного самоуправления (ОМС) вводится показатель "Удовлетворенность населения организацией транспортного обслуживания в муниципальном образовании". В то же время, общеизвестно, что организация ГОТ в России далека от идеала. Так, Концепция организации и развития городского пассажирского транспорта общего пользования города Перми на период 2012–2015 гг. констатирует недовольство как перевозчиков,

так и жителей города, жалующихся на недостаток объема транспортных услуг, в том числе на отсутствие некоторых транспортных связей [24].

Особую актуальность вопрос управления ГОТ приобретает в средних и больших городах (менее 250 тысяч жителей), где количество видов транспорта ограничено, а население привыкло к тому, что перемещение транспортом производится сравнительно быстро и за один переезд (как правило, без пересадок). В подобных городах ОМС, в некотором смысле, "ближе" к населению, более доступны для критики, а с другой стороны, располагают меньшими ресурсами для улучшения ситуации с обслуживанием ГОТ, чем в крупных и крупнейших городах. В России 153 средних (50–100 тысяч населения) и 90 больших (100–250 тысяч населения) городов [11], для которых перечисленные выше проблемы, несомненно, актуальны.

Исследованию городских транспортных потоков уделили много внимания Сильянов В.В., Дрю Д., Капитанов В.Т., Буслаев А.П., Кременец Ю.А., Файзрахманов Р.А., Афанасьев Л.Л., Гудков В.А., Островский Н.Б. и др. В их работах описаны особенности транспортных потоков,

включая ГОТ, с точки зрения объекта управления [27, 13, 16, 20, 5, 1, 12, 30]. Применению математических методов в организации и планировании перевозок посвящены работы Геронимуса В.Л., Кожина А.П., Панова С.А., Тихомирова Е.Ф., Антошвили М.Е., Варелопуло Г.А. [10, 17, 22, 28, 6, 1, 3] и др. Имитационным моделированием, воспроизводящим естественные процессы в ГОТ, плодотворно занимались Корягин М.Е., Семенова О.С., Сериков А.А. [18, 26] и др. Однако в большинстве перечисленных работ во главу угла ставится соответствие между вместительностью подвижного состава и удельным пассажирооборотом, определенным статистическими методами. Потребная вместимость единицы подвижного состава определяется по рекомендациям в зависимости от численности населения, далее рассчитывается интервал ожидания. Выбор вариантов схем городского пассажирского транспорта определяется, фактически, экспертно с последующей проверкой соответствия фактического интервала движения заданному ранее. Часть работ подразумевают оснащение модели ГОТ объемной статистической информацией, не определяя однозначно ее источник.

Комплексное решение задачи улучшения транспортного обслуживания населения средних и больших городов за приемлемое время и с небольшими трудозатратами в рассмотренных работах не представлено. Решение этой задачи в современных условиях осложняется секвестированием бюджетных расходов в соответствии с Посланием Президента РФ Федеральному собранию 4.12.2014 и дальнейшими событиями во внешнеполитической обстановке.

Целью работы является повышение эффективности функционирования ГОТ за счет информационной поддержки, ведущей к повышению качества решений по управлению им.

Научная задача состоит в разработке моделей и методов информационной поддержки решений по управлению ГОТ.

Для достижения цели поставлены следующие задачи исследования:

1. Провести анализ работы ГОТ в средних и больших городах, выявить проблемы и факторы, влияющие на работу ГОТ.

2. Разработать комплекс математических и имитационных моделей ГОТ, включая системную (концептуальную) модель, модели возникновения пассажиропотока и его стока, распределения пассажиропотока по маршрутам ГОТ, динамики пассажиров на остановках.

3. Разработать программное обеспечение, реализующее модели, а также усовершенствовать существующее программное обеспечение для составления расписаний движения ГОТ.

4. Произвести внедрение программного средства в центральной диспетчерской службе Администрации г. Березники Пермского края и ООО "Горавтотранс" г. Соликамск Пермского края, выработать рекомендации по улучшению расписаний ГОТ.

Был проведен обзор способов управления ГОТ: проектирования маршрутной сети, определения пассажиропотоков, составления и оптимизации расписания [12]. Выявлены проблемы управления ГОТ, свойственные средним и большим городам России и связанные с их особенностями. Рассмотрены методы исследования проблем ГОТ в средних и больших городах, включая разные способы: измерения пассажиропотока, принятия решений о размещении маршрутной сети в городе, распределения подвижного состава в зависимости от емкости и назначения маршрутов и т.д. [19, 21]

Выявлены противоречивые оценки эффективности функционирования ГОТ с разных точек зрения: органов местного самоуправления (U_1), населения (U_2), транспортных организаций (U_3). Рассмотрены типовые методы свертки многокритериальных задач (линейная свертка, метод главного критерия, метод Парето и др.), их достоинства и недостатки применительно к задаче оценки эффективности ГОТ.

Удовлетворенность ГОТ характеризует возможность добраться с его использованием от одной точки города до другой при наличии потребности в этом. Этот критерий связан с остальными двумя критериями. Невозможность использования ГОТ ведет как к нареканиям со стороны населения в адрес власти, так и к падению доходности транспортных предприятий. Поэтому далее повышением эффективности ГОТ будем считать уменьшение времени перемещения между точками города для большинства населения

$$K = \sum_M (T_{\text{исх}} + T_{\text{ож}} + T_{\text{ГОТ}} + T_{\text{цел}})_m \rightarrow \min \quad (1)$$

где сумма времен перемещения от точки возникновения потребности до исходной остановки, ожидания на остановке, использования ГОТ и перемещения от целевой остановки до конечной точки взята по множеству M всех пассажиров, у которых возникла потребность в перемещении. Перечень факторов, влияющих на критерий эффективности ГОТ, уточнен, исходя из особенностей средних и больших городов РФ.

Проведен обзор существующих информационных систем и программных средств расчета и оптимизации маршрутных сетей, расписаний ГОТ, транспортных потоков и пр. [1, 31] Показаны их недостатки для малобюджетного решения задачи улучшения транспортного обслуживания населения в средних и больших городах РФ. [32]

Если модель возникновения потребности в перевозках единая для всего города (из-за его сравнительно небольшой величины), то, измерив пассажиропотоки на остановках, где проходит большое количество маршрутов, и есть несколько остановочных пунктов, расположенных вблизи аттракторов, можно распространить результаты на весь город. Измерение на всех остановках города невозможно из-за трудоемкости. Для оценки пассажиропотоков необходимо знать плотность населения и ценность аттракторов, прилегающих к остановке.

Информация о плотности населения (количестве людей, проживающих в домах), неизвестна, так как ни один из государственных инструментов (регистрация в т.ч.) не дает точного ответа на этот вопрос [6]. Однако она, вероятно, пропорциональна площади жилых помещений, которая легко определяется по общеизвестным сериям домов. [14]

Учтены аттракторы двух типов (предприятия – места работы и магазины). Измерение пассажиропотоков на узловых остановках в часы пиковых нагрузок рабочих и выходных дней произведено в 2013 году в г. Березники.

Дискретизация города с равными шагами по долготе (X) и широте (Y) произведена так, чтобы в каждом элементе было не более одной остановки ГОТ ("А") (рис. 2). При этом один элемент может содержать несколько домов, это не принципиально.

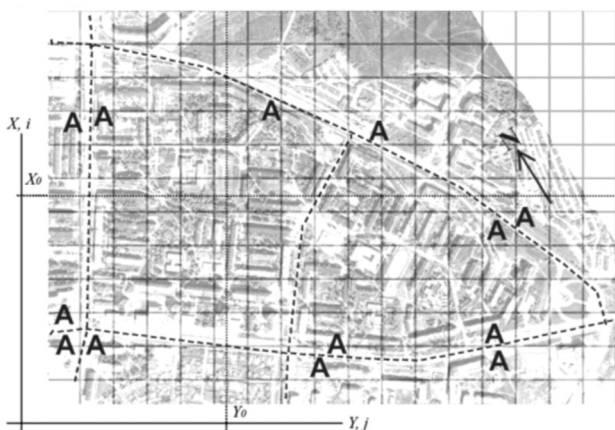


Рис. 2. Пример дискретизации расчетной области.

Координатам всех 1479 домов на карте г. Березники сопоставлены сведения о площади квартир в них, в сумме равной 2999259 м². Ее отношение к известной численности населения города (~141000 человек) дает среднюю обеспеченность жилой площадью – 21,3 м²/чел., что близко к статистическим данным. Создано специальное программное обеспечение и, путем вычислительного эксперимента, определен шаг дискретизации карты (ΔX = ΔY = 260 м) и количество жителей в каждом элементе.

Разная "пассажирская емкость организаций и предприятий, торговых и социальных объектов определяет максимальную интенсивность прибытия пассажиров

$$\zeta(x_i, y_j, t) \equiv \zeta_{ij}(t)$$

в дискрет в единицу времени. В целом, за промежуток времени Δt количество пассажиров, прибывших с помощью ГОТ на остановки, равно

$$I_1 = \iint_{x,y} \int_t^{t+\Delta t} \zeta(x, y, t) dx dy dt \approx \Delta t \sum_i \sum_j \zeta_{ij}(t) \quad (2)$$

Первичный пассажиропоток, который может произвести жилой фонд, не превышает общей* численности населения M_{ij}.

* За исключением людей, не пользующихся ГОТ совсем - будем считать, что их доля одна и та же во всем городе.

Для ij-го элемента потребность в перемещении в момент времени t равна

$$\psi_{ij}(t) = \psi_{ij}^*(t) \cdot M_{ij}$$

где ψ_{ij}^{*} удельная потребность в перемещении жителей ij-го элемента карты.

Если разные жители (рабочие, учащиеся, пенсионеры и т.п.) расселены по городу равномерно, то

$$\psi_{ij}^*(t) \equiv \psi^*(t) \forall i, j$$

В случае, когда в большом городе один район существенно отличается от другого ("спальный", "торговый", "офисный" и т.п.), для него придется вводить в рассмотрение свои потребности в перемещении. Следовательно, первичный общегородской поток ПП, порождаемый за t...t+Δt, равен

$$I_2 = \psi^*(t) \cdot \Delta t \sum_i \sum_j M_{ij} \Rightarrow \psi^*(t) \cdot \Delta t \cdot M \quad (3)$$

где M – общая численность пассажиров ГОТ в городе.

Добавив к уравнению (3) первые "отражения" исходного потока пассажиров (возвращения с работы, из магазина, из театра), получим

$$\psi_{ij}(t) = \psi^*(t) \cdot M_{ij} + \varphi_{ij}(t) \quad (4)$$

$$I_2 = \left(\psi^*(t) \cdot M + \sum_i \sum_j \varphi_{ij}(t) \right) \cdot \Delta t \quad (5)$$

Обозначим через T_{ij^{km}} время перемещения пассажира от ij-го элемента карты к km-му при помощи ГОТ с учетом времени, потребного, чтобы дойти до остановки отправления и от остановки прибытия. Тогда для каждой пары элементов ij и km справедливо уравнение сохранения пассажиров I₁=I₂ или

$$\psi^*(t) \cdot M_{ij} + \varphi_{ij}(t) = \zeta_{km}(t + T_{ij}^{km}) \quad (6)$$

а в целом для города

$$\sum_i \sum_j (\psi^*(t) \cdot M_{ij} + \varphi_{ij}(t)) = \sum_k \sum_m \zeta_{km}(t + T_{ij}^{km}) \quad (7)$$

где $\varphi_{ij}(t) = \zeta_{ij}(t - \Delta T_{ij})$ вторичная потребность в перемещении для ij -го элемента, ΔT_{ij} – задержка первичного пассажиропотока в аттракторе (или сумме однотипных аттракторов) ij -го элемента, T_{ij}^n – время перемещения пассажира от ij -го элемента карты к km -му при помощи ГОТ с учетом времени, потребного чтобы пройти до исходной остановки и от целевой остановки, t – время начала перемещения между остановками.

Уравнение (7) замыкает консервативную систему потребностей горожан в перевозках с учетом сравнительной ценности остановок, показывающих предпочтение ПП одних остановок другим с учетом дня недели (рабочий, выходной) и времени дня.

Будем считать возможным использование ГОТ, если суммарное время перемещения от ij -го элемента карты до одной из остановок множества A^{ij} и ожидания нужного маршрута транспорта на этой остановке не превышает некоторой наперед заданной величины T_{max} , по достижении которой ПП отказывается от использования ГОТ:

$$T_{ij}^n + T_{(km)}^n \leq T_{max} : n \in A^{ij}$$

где T_{ij}^n – время перемещения пешком от ij -го элемента карты до A_n -й остановки, а $T_{(km)}^n$ – время ожидания на A_n -й остановке транспорта в сторону km -го элемента. Тогда в предыдущей формуле получим

$$T_{ij}^{km} = T_{ij}^n + T_{(km)}^n + t_n^l + T_{km}^l \quad (8)$$

где t_n^l – время перемещения на ГОТ от A_n -й до A_i -й остановки, причем $\{k, m\} \subset A_i$ (рис. 3), где \subset – обозначение принадлежности точки к зоне притяжения остановки.

Принято, что пассажиропоток с остановки и на остановку зависит от ее суммарной ценности и проживающего в ее зоне притяжения населения

$$S_{вх, исх} = f \cdot \delta_f \cdot K_f + r \cdot \delta_r + p \cdot \delta_p \cdot K_p \quad (9)$$

где r – количество рабочих мест (чел.), f – количество аттракторов, p – население (чел.), δ_f, δ_r и δ_p – признаки, участвуют ли рабочие места, аттракторы и население в формировании потоков (исходящего или входящего) в данный интервал времени, K_f (чел./ед.) и K_p – неизвестные нормирующие коэффициенты, позволяющие уравновешивать ценность аттрактора и населения с ценностью рабочего места, причем $\delta_i = \delta_i(\Delta t)$ и $K_i = K_i(\Delta t)$, где Δt – интервал времени измерения пассажиропотока (7–9 часов, 12–14 часов, 17–19 часов). Для исключения трудоемких подсчетов рабочих мест и аттракторов оценили экспертно ценность остановок

$$S = a_0 + \sum_{i=0} \sum_{j=0} a_{ij} r^i f^j \approx f \cdot K_f + r$$

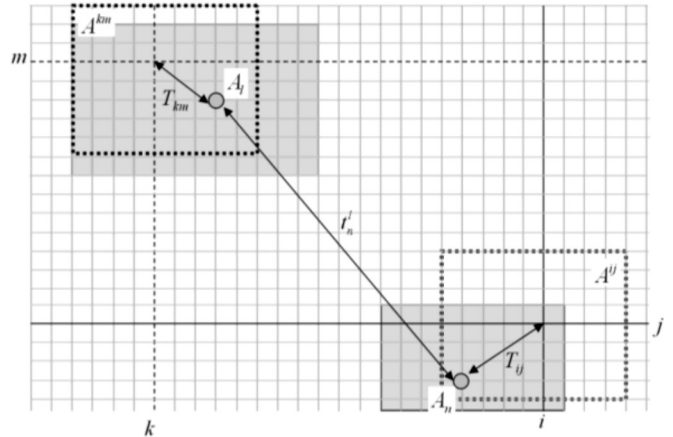


Рис. 3. Времена перемещения.

После поиска коэффициентов $\langle a_0, a_{ij} \rangle$ получили возможность расчета $f \cdot K_f + r$ для любой остановки с погрешностью $\pm 26.2\%$ и использовали их в (9). Коэффициенты K_f и K_p найдены минимизацией отношений

$$\frac{N_{исх}}{S_{исх}} \text{ и } \frac{N_{вх}}{S_{вх}}$$

для трех остановок (табл.), определена средняя погрешность коэффициента входного потока

$$\varepsilon_{вх}^i(\Delta t) = \sum_i \left(\frac{\bar{K}_{вх}(\Delta t) - K_{вх}^i(\Delta t)}{\bar{K}_{вх}(\Delta t)} \right)^2$$

и, аналогично, для исходящего потока.

Следовательно, с погрешностью, не превышающей $\pm 22.3\%$ результаты измерений могут быть распространены на все остановки города.

Следующей задачей является расчет распределения входящего пассажиропотока между маршрутами [8]. Метод расчета построен на примере (рис. 4) для потоков с остановки 0 до остановки H.

Приняты следующие допущения:

1. через остановку 0 проходит M маршрутов, известных пассажирам (в примере $M = 2$ для простоты);
2. из-за разветвлений и слияний графа остановок существуют пассажиры, которым нужен только определенный маршрут, которые могут уехать на двух маршрутах и т.д. до M маршрутов в общем случае. Всего получается $N = 2^M - 1$ потоков пассажиров, например, для $M = 2$ получим $\{\{1\}, \{2\}, \{1, 2\}\}$ $N = 3$, для $M = 3$ получим $\{\{1\}, \{2\}, \{3\}, \{1, 2\}, \{1, 3\}, \{2, 3\}, \{1, 2, 3\}\}$ $N = 7$ вариантов, для $M = 4$ получим $N = 15$ и т.д.

Остановки D и B порождают первичные пассажиро-

Таблица

Коэффициенты входящего и исходящего потока и их погрешности.

Остановка	Интервал времени		
	7-9	12-14	17-19
$\bar{K}_{вх}(\Delta t)$	0,31033	0,01992	0,03981
$\bar{K}_{исх}(\Delta t)$	0,13835	0,01961	0,03058
$\bar{\epsilon}_{вх}(\Delta t) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \epsilon_{вх}^i(\Delta t)$	2,6%	11,0%	8,2%
$\bar{\epsilon}_{исх}(\Delta t) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \epsilon_{исх}^i(\Delta t)$	22,3%	19,4%	20,7%

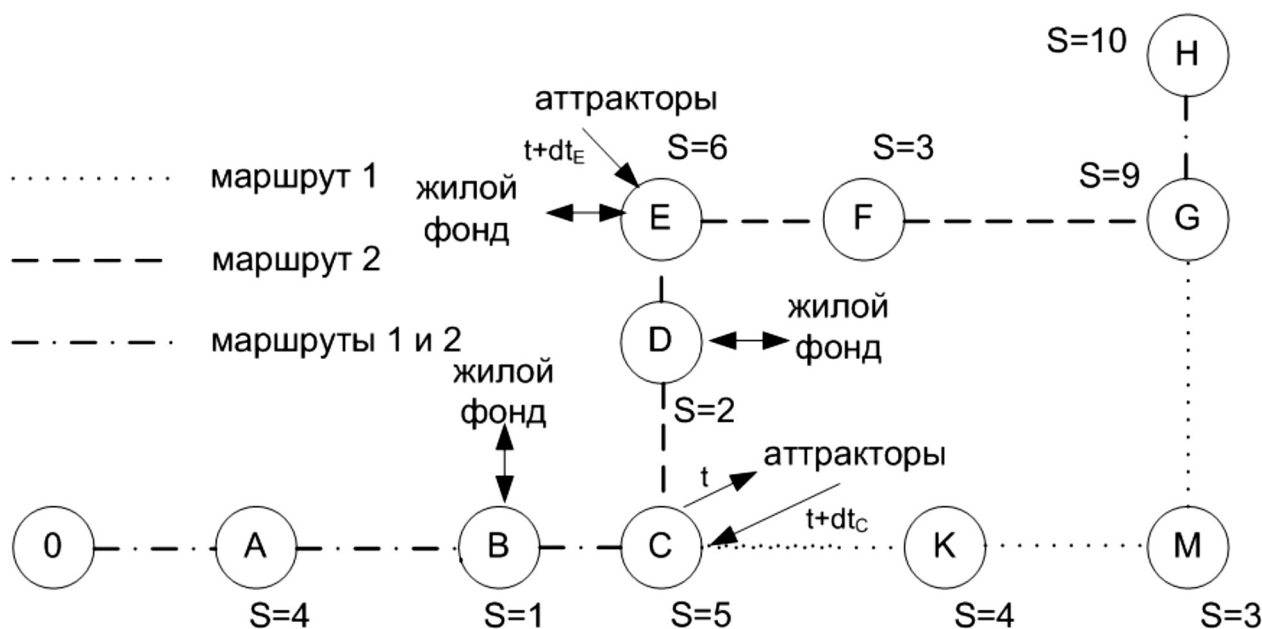


Рис. 4. Пример маршрутной сети для определения ценности маршрутов.

токи и являются стоками только за счет жилого фонда, остановка C не является точкой притяжения ни для какого жилого фонда (например, крупный торговый комплекс), точка E совмещает потоки обоих видов. Распределение ПП по маршрутам определяется маршрутной сетью и максимальным возможным стоком пассажиров в областях, прилегающих ко всем остановкам.

Этот максимальный сток суммы первичных и вторичных пассажиропотоков определяет безразмерные ценности остановок $S_i = \sum_{k,m} \zeta_{km}$, равные сумме ценностей всех прилегающих аттракторов остановки $A_i \supset \{k, m\}$.

Отношение S_i/S_j пропорционально отношению количества ПП, которые собираются использовать ГОТ для перемещения до i -й и j -й остановок соответственно. На практике сток определяется из уравнения сохранения пассажиров (7), коэффициенты которого уточнены выше единичными замерами на наименее определенных в смысле аттракторов остановках (например, остановке C).

Пусть
 1-й маршрут проходит по остановкам 0ABCGHKM,
 2-й – по 0ABCDEFGH.

Вероятность, что ПП планирует воспользоваться

только 1-м маршрутом (и никаким другим), пропорциональна $p_1 = k \cdot (S_K + S_M)$

(так как K и M – остановки, до которых можно добраться только 1-м маршрутом), 2-м – $p_2 = k \cdot (S_D + S_E + S_F)$, вероятность использования хоть 1-го, хоть 2-го маршрута $p_{12} = k \cdot (S_A + S_B + S_C + S_G + S_H)$.

Нормирующий множитель k вычисляется из очевидного условия $p_1 + p_2 + p_{12} = 1$. Для графа на рис. 4 получим $p_1 = 7/47$, $p_2 = 11/47$ и $p_{12} = 29/47$.

Определение потребного количества оборотов на маршруте возможно из очевидного соотношения

$$R_i = R_0 \frac{p_i}{\sum_i p_i} \quad (9)$$

где R_0 – доступный (или, при первичном создании маршрутной сети, необходимый) подвижной состав, выраженный в максимально возможном количестве оборотов за тот промежуток времени, когда ценности остановок допускаются неизменными. Однако в (9) необходимо избавиться от вероятностей безразличного использования нескольких маршрутов p_{ij} , приведя их к вероятностям конкретных маршрутов p_i .

ПП, которым безразлично, использовать 1-й или 2-й маршрут, в конечном итоге, будут распределены по всем остановкам этих маршрутов. Основываясь на этом, можно разделить вероятности p_{12} между p_1 и p_2 . В сознании ПП "ценность маршрута" представлена суммой ценностей всех остановок, через которые он проходит. Даже если он сейчас планирует использовать 1-й маршрут для проезда до остановки H , куда можно добраться также и 2-м маршрутом, в другие дни или поездки он может добираться до других остановок. Поэтому разделение безразличной вероятности произведем с учетом ценности маршрутов, то есть суммы ценности всех остановок, через которые маршрут проходит:

$$S_1 = S_A + S_B + S_C + S_G + S_H + S_K + S_M \text{ и} \\ S_2 = S_A + S_B + S_C + S_D + S_E + S_F + S_G + S_H.$$

Тогда дополнительную вероятность использования каждого маршрута можно рассчитать как

$$\Delta p_i = p_{ij} \frac{S_i}{S_i + S_j} \quad \text{и,}$$

и, окончательно,

$$p_i^* = p_i + \Delta p_i \text{ и } R_i = R_0 \frac{p_i^*}{\sum_i p_i^*}. \quad (10)$$

Для нашего примера

$$\Delta p_1 = p_{12} \frac{S_1}{S_1 + S_2} = \frac{29}{47} \cdot \frac{36}{76} \approx 0.29 \\ \text{и } \Delta p_2 \approx 0.33;$$

$$p_1^* = \frac{7}{47} + 0.29 \approx 0.44,$$

$$p_2^* = \frac{11}{47} + 0.33 \approx 0.56.$$

Далее для оснащения разработанного выше комплекса моделей возникновения и перевозки пассажиропотоков необходимо создать частные модели источников и стоков одной остановки в различных условиях, чтобы определить неизвестные параметры путем вычислительного эксперимента, а также модель оборотов ГОТ по годовому расписанию.

Разработан комплекс имитационных моделей ГОТ. Исследовано уменьшение пассажиропотоков за счет отказа от использования ГОТ. Путем расчетов, приведенных в диссертации, определено время ожидания до отказа (для самого "нетерпеливого" пассажира) $T^* = 24 \pm 16$ мин.

Метод расчета создан на примере модели динамики количества пассажиров на остановке A_n (с пассажиропотоком $\lambda^n(t)$, определенным выше) в простейшем случае, когда от нее до A_l идет единственный маршрут ГОТ. Остановка рассматривается как система массового обслуживания с пассажиропотоком $\lambda^n(t) \equiv \lambda^n$. Интервал времени между прибытием на остановку каждого следующего пассажира

$$T = \frac{1}{\lambda^n} \pm \Delta T$$

Время ожидания на остановке (величина обратная интенсивности ГОТ Λ^n) равно

$$t = \bar{t} \pm \Delta t$$

Модель реализована в среде GPSS. Задались значениями переменных, соответствующими результатам замеров:

$$\frac{1}{\lambda^n} = 0,2, \quad \bar{t} = 12, \quad \Delta T = 0,1 \cdot \frac{1}{\lambda^n}, \quad \Delta t = 0,5 \cdot \bar{t}.$$

В результате получили, что за час (60*100 минут) на остановку пришло 301 человек, ушло 2 человека, и трижды приходил транспорт.

По индукции расширим метод на граф узловых остановок (рис. 5), соответствующий западной части г. Березники Пермского края.

Пусть по сети проходят маршруты 1-й {OABCD, микроавтобусы 13 мест}, 2-й {OAECD, автобусы 100 мест} и 3-й {OAEF, автобусы 100 мест}.

Зададимся суммарной интенсивностью потоков

$$\text{пассажирами } \Lambda = \lambda = \frac{1}{5} \text{ с}^{-1},$$

свойственной для остановки "ЦУМ" ("0" на рис. 5) в вечерние часы пик.

Если сравнительная ценность всех остановок одинакова, то $p_1=p_3=p_{23}=p_{123}=k$, $p_{12}=2 \cdot k$, $p_2=p_{13}=0$ и $p_1+p_3+p_{23}+p_{123}+p_{12}=6 \cdot k$, откуда $p_1=p_3=p_{23}=p_{123}=1/6$, и $p_{12}=1/3$.

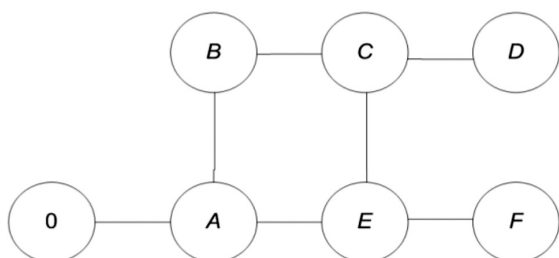


Рис. 5. Граф узловых остановок для примера многопоточной остановки.

Оценим требуемые пропускные способности маршрутов. 1-й и 2-й маршруты проходят через 4 из 6 имеющихся остановок, 3-й – через 3 из 6. При полной заполняемости подвижного состава получим, используя (10), требуемую интенсивность 1-го маршрута

$$\Lambda_1 = \frac{4}{6} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{13} \approx \frac{1}{98} \text{ с}^{-1} \left(\text{примерно } \frac{1}{1,6} \text{ мин}^{-1} \right),$$

2-го маршрута

$$\Lambda_2 = \frac{4}{6} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{100} = \frac{1}{750} \text{ с}^{-1} \left(\frac{1}{12,5} \text{ мин}^{-1} \right),$$

и 3-го маршрута

$$\Lambda_3 = \frac{3}{6} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{100} = \frac{1}{1000} \text{ с}^{-1} \left(\text{примерно } \frac{1}{17} \text{ мин}^{-1} \right).$$

Примем требуемые интенсивности в качестве фактических.

На GPSS написана модель остановки с 3-мя маршрутами ГОТ [7]. Параметрам поступающих транзактов (пассажирам) P_1 , P_2 или P_3 присваивается 1, если пассажир готов уехать соответственно 1-м, 2-м или 3-м маршрутами.

Затем из общего накопителя (остановки) выбирают по одному не более 13 (для 1-го маршрута) или 100 (для 2-го и 3-го маршрутов) транзактов – пассажиров, "согласных" воспользоваться этим маршрутом.

Выборка пассажиров с остановки осуществляется по одному человеку, поэтому в программе предусмотрены циклы выборки (LOOP) для каждого потока транспорта:

```
M_TRAN12 TEST G SSOST,0,M_TRAN13
LEAVE OST
SAVEVALUE 1-,1
LOOP 5,M_TRAN12;
выход потока транспорта # 1 из системы
M_TRAN13 TERMINATE
```

Транзакты этого фрагмента программы моделируют поток транспорта 1-го маршрута. Аналогичные фрагменты в программе есть для 2-го и 3-го маршрутов. В результате работы программы получили следующий график зависимости количества пассажиров на остановке от времени (рис. 6).

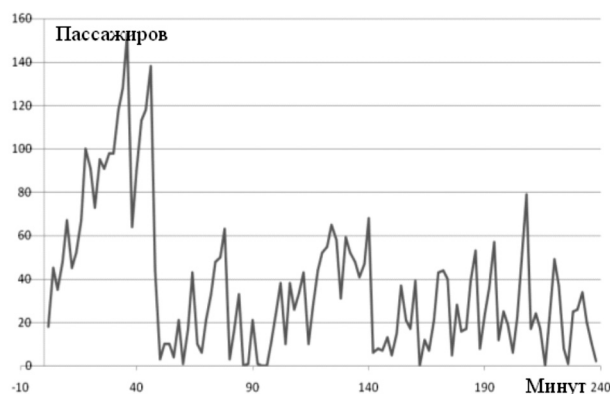


Рис. 6. Тренд начального периода времени работы остановки.

На начальном этапе, пока движение транспорта не установилось, имеется "пик" количества ожидающих. Затем количество ожидающих на остановке пассажиров начинает колебаться примерно в пределах 30 ± 30 , что соответствует результатам наблюдений. За время моделирования 31 (1,1%) пассажир не дождался транспорта, в том числе – 21 пассажир, готовый уехать на 1-м маршруте, 25 – на 2-м и 13 на 3-м (поскольку есть пассажиры, готовые ехать на нескольких маршрутах, сумма не совпадает с 31).

Исследована зависимость количества отказавшихся от поездки пассажиров от их "нетерпимости", то есть времени, по истечении которого пассажир отказывается от поездки. Изменяя время "нетерпимости" от 1000 до 1800 секунд, получили следующий график (рис. 7).

Неудовлетворенный спрос ПП на использование ГОТ имеет нелинейный характер и при медиане предельного времени ожидания менее 1050 с (17,5 минут) резко возрастает. Определение зависимости точки резкого возрастания неудовлетворенного спроса на перевозки от остальных параметров модели позволяет выяснить те минимальные интенсивности потоков ГОТ, при которых в целом граждане остаются удовлетворены его работой, то есть не наблюдается массового отказа от использования ГОТ.

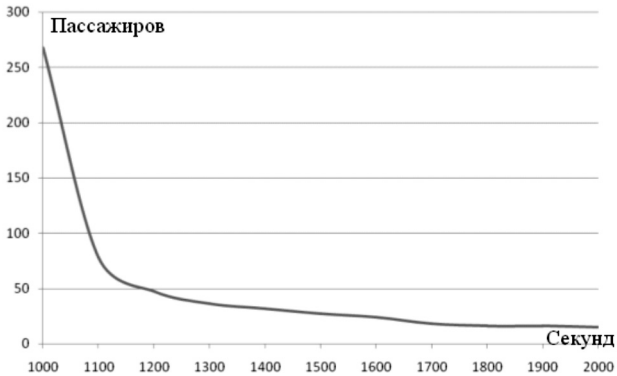


Рис. 7. Зависимость количества отказавшихся от поездки в течение 6 часов пассажиров от максимального времени ожидания.

Далее при принятом предельном времени ожидания 17 минут определена доля пассажиров, отказавшихся от поездки на остановке. В условиях г. Березники это оказалось $\varepsilon = 1,1\%$ общего количества ПП, то есть пренебрежимо малая величина [9]. Однако при применении описываемой методики в других городах эта величина подлежит оценке, так как при заметных значениях она должна быть исключена из уравнения сохранения пассажиров (7)

$$\sum_i \sum_j ((\psi^*(t) - \varepsilon) \cdot M_{ij} + \varphi_{ij}(t)) = \sum_k \sum_m \zeta_{km} (t + T_{ij}^{km}) \quad (7A)$$

Была модифицирована информационная система (ИС) "СОРОТ" [15] расчета расписаний ГОТ с учетом полученных результатов. ИС разработана в среде Borland Delphi с использованием компонента доступа к данным ADO. Исходными данными и, одновременно, свободными переменными для программы являются маршрутная сеть, количество оборотов на маршрутах, время выхода и возврата в парк, время нулевого и конечного рейса, времена разворотов, перерывов и обеда и т.д. Ручной подбор этих параметров на основе опыта составителя позволяет добиться повышения эффективности (равномерности движения транспорта, уменьшения одновременных прибытий на остановки, уменьшения времени перемещения между остановками и других критериев). Исходная информация для составления расписаний ГОТ определяет информационную модель системы (рис. 8).

В существующем варианте расписание формировалось по 24 "узловым" остановкам, остальные считались несущественными. Использование эксперта-составителя в обратной связи ИС позволяет добиться существенного ускорения составления расписания. До внедрения информационной системы "СОРОТ" в МУП "Троллейбусное управление" г. Березники составление расписания расчетно-графическим методом занимало время от нескольких недель (в случае корректировки существующего варианта) до нескольких месяцев. К изменению расписания прибегали только в исключительных случаях, так как оперативность системы не позволяла удовлетворять быстро меняющимся требованиям заказчиков измене-

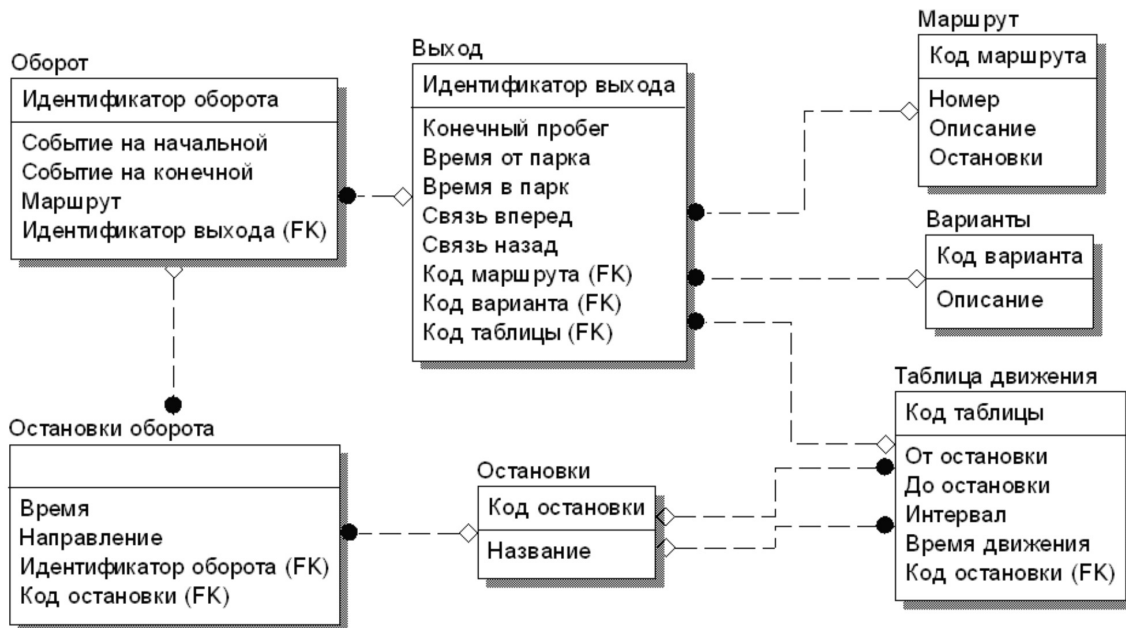


Рис. 8. Информационная модель ИС управления движением.

ний. После внедрения ИС время, потребное на корректировку расписания и оформление сопутствующей документации, стало измеряться часами.

Модификация ИС заключалась в:

1. Вводе всех 107 остановок города, а не только узловых, уточнении времен перемещения между всеми остановками.

2. Дополнении времен перемещения между остановками временами перемещения через зону их притяжения, то есть времени перемещения от km -го элемента к остановке

$$A \supset \{k, m\}$$

(использованы среднемедианные значения зон притяжения).

3. Изменении критерия с на (1).

$$K_{1''} = \sum_i \sum_j T_{ij} \rightarrow \min$$

Далее произведено улучшение расписаний (летнего рабочего и летнего выходного) в интерактивном режиме. За несколько часов работы с модифицированной ИС удалось улучшить выбранный критерий эффективности ГОТ на 12,2% для летнего рабочего и 9,8% для летнего выходного расписания.

Моделирование последствий управленческих решений дает возможность улучшить работу ГОТ и, таким образом, достичь решения задач повышения его эффективности с разных точек зрения, приведенных к удовлетворенности населения транспортным обслуживанием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная пассажирская автотранспортная система компании "Вертикаль" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.upgvert.ru/apas/apas.php>.
2. Антошвили М.Е., Варелопуло Г.А., Хрущёв М.В. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ. М.: Транспорт, 1974. 103 с.
3. Антошвили М.Е., Либерман С.Ю., Спиринов И.В. Оптимизация городских автобусных перевозок. М.: Транспорт, 1985. 102 с.
4. Афанасьев Л.Л. и др. Единая транспортная система и автомобильные перевозки: Учебник для студентов вузов / Л. Афанасьев, Н. Б. Островский, С. М. Цукерберг. М.: Транспорт, 1984. 333 с.
5. Буслев А.П. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения. М.: Мир, 2003. 268 с.
6. Варелопуло Г. А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте. М.: Транспорт, 1990. 208 с.
7. Володина Ю.И., Затонский А.В. Имитационная балансовая модель остановки городского общественного транспорта // Грузовое и пассажирское автохозяйство, 2013. № 12. С. 70–77.
8. Володина Ю.И. Определение потребного количества оборотов маршрутов городского общественного транспорта на основе анализа графа остановок // Экономический журнал, 2015, №2 (38). С.72–87.
9. Володина Ю.И. Стохастическая модель многопотоковой остановки городского общественного транспорта // Новый университет, 2014. № 7–8. С.32–37.
10. Геронимус Б.Л. Экономико–математические методы в планировании на автомобильном транспорте. М.: Транспорт, 1982. 192 с.
11. Города России [Электронный ресурс] – режим доступа: ru.wikipedia.org/wiki/Города_России
12. Гудков В.А., Миротин Л.Б. Пассажирские автомобильные перевозки. М.: Горячая линия–Телеком, 2006. 448 с.
13. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 1972. 424 с.
14. Затонский А.В., Антонова А.М. Эффективность и критерии оптимальности движения общественного транспорта // XIX Международная научная конференция. "Математические методы в технике и технологиях" ММТТ–19. Сб. трудов. Том 7. Секция 7.– Воронеж. Воронеж. Гос. Технол. Акад., 2006. С.143–145.
15. Затонский А.В., Вогулякова А.Е. Информационная система составления расписания общественного транспорта COPOT Silver. Свидетельство о государственной регистрации в "Национальном информационном фонде неопубликованных документов" разработки, предъявленной в отраслевой фонд алгоритмов и программ № 50200800322 от 12 февраля 2008 г.
16. Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б. Управление транспортными потоками в городах. М.: Транспорт, 1985. 94 с.
17. Кожин А.П., Мезенцев В.Н. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками. М.: Транспорт, 1994. 304 с.
18. Корягин М.Е. Теоретические аспекты оптимизации управления движением городского транспорта // Вестник КузГТУ, 2012, №1. С.125–131.
19. Кочегурова Е.А., Мартынов Я.А., Мартынова Ю.А., Фадеев А.С. Получение матрицы пассажирских корреспонденций на основе данных электронных карт // Системы управления и информационные технологии. – 2013. – №4 (54).
20. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. Москва, ИКЦ "Академкнига", 2005. 279 с.
21. Мартынова Ю.А. Анализ опыта проектирования рациональных маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Интернет–журнал "Науковедение". – 2014. – № 2.
22. Панов С. А., Поляк А. М., Поносов Ю. К. Управление грузовыми автомобильными перевозками (Основы анализа). М.: Транспорт, 1979. 127 с.
23. Постановление № 880 от 05.06.2013 главы Администрации г. Березники Пермского края "О внесении изменений в постановление администрации города

от 24.12.2012 № 2004 "Об утверждении административного регламента предоставления управлением городского хозяйства администрации города муниципальной услуги "Согласование открытия новых муниципальных автобусных маршрутов, утверждение паспортов муниципальных автобусных маршрутов".

24. Постановление Администрации г. Пермь от 18 октября 2013 г. N 882 "Концепция организации и развития городского пассажирского транспорта общего пользования города Перми на период 2012 – 2015 гг."

25. Постановление Правительства Российской Федерации от 17 декабря 2012 г. № 1317 "О мерах по реализации Указа Президента Российской Федерации от 28 апреля 2008 г. № 607 "Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов" и подпункта "и" пункта 2 Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 601 "Об основных направлениях совершенствования системы государственного управления".

26. Семенова О.С., Корягин М.Е. Оптимизация потоков общественного транспорта в городской среде // Вопросы современной науки и практики, 2008. № 1(11). С.70–78.

27. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М.: Транспорт, 1977. 303 с.

28. Тихомиров Е.Ф. Финансовые методы управления в транспортно-дорожном комплексе. М.: МАДИ (ТУ), 1997. 86 с.

29. Указ Президента Российской Федерации от 28 апреля 2008 года № 607 "Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов"

30. Файзрахманов Р.А., Мовчан В.П. Моделирование состояния транспортного потока – как объекта управления // Стратегия развития регионов: теория и практика, материалы международной науч. практ. конф-и, ч. 2. Пермь: Высшая школа экономики, 1998.

31. New release: PTV VISUM 14 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-visum>.

32. Safety network screening for municipalities with incomplete traffic volume data. Peter Y. Park, Rajib Sahaji // Accident Analysis and Prevention 50 (2013) p. 1062–1072

© Ю.И. Володина, (julia_volodina@mail.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

24-27 мая

Уфа-2016






Газ. Нефть. Технологии

XXIV международная выставка

Место проведения
ВДНХ ЭКСПО
ул. Менделеева, 158



#ГАЗНЕФЬТЕХНОЛОГИИ #БВК
www.gntexpo.ru



БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

(347) 246 41 77, 246 41 93
e-mail: gasoil@bvkexpo.ru