

УДК 656.007

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ ПАССАЖИРСКИМ ТРАНСПОРТОМ

А. В. Ярошевич

К. т. н., доцент, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: yerotey@gmail.com

Реферат

Перевозка пассажиров в больших городах маршрутизированным транспортом обладает всеми признаками сложных систем. Большинство компонент этой системы имеют стохастический характер, число связей элементов очень велико, размерность информационных массивов большая. Разработка глобальной математической модели для автоматизации управления не представляется возможной. При этом в системе существуют закономерности и признаки, позволяющие установить детерминированные связи элементов. Последнее позволяет выполнить декомпозицию системы на более простые блоки и разработать алгоритмы управления. Решение перечисленных выше проблем можно найти путем: 1) обобщения структуры ресурсов, работ и технологических процессов для построения общей информационной модели календарного планирования городского пассажирского транспорта; 2) декомпозиции общей задачи на ряд задач достаточной для получения решения размерности; 3) выбора критерия эффективности, свободного от издержек стоимостных оценок и учитывающего интересы пассажиров с одной стороны и транспортных предприятий с другой; 4) учета перераспределения пассажиропотоков между маршрутами при построении комплекса согласованных математических моделей календарного планирования; 5) уточнения расчетных методов получения данных о пассажиропотоках.

Целью настоящей работы является выделение этих закономерностей и разработка технологической информационной модели управления городским пассажирским транспортом.

Путь, на котором эта проблема может быть решена, предполагает построение простых и понятных для транспортников моделей, ориентированных: на решение задач локального характера, обеспечивающих быстрое получение экономического эффекта. Для решения задач комплексного характера следует создавать программные системы, состоящие из независимых и простых программных модулей.

Ключевые слова: перевозка пассажиров, городской маршрут, математическая модель, декомпозиция, автоматизация управления.

TECHNOLOGICAL INFORMATION MODEL FOR MANAGING URBAN PASSENGER TRANSPORT

A. V. Yrashevich

Abstract

Transportation of passengers in large cities by routed transport has all the characteristics of complex systems. Most of the components of this system are stochastic in nature, the number of links between elements is very large, and the dimension of information arrays is large. It is not possible to develop a global mathematical model for control automation. At the same time, there are patterns and features in the system that allow you to establish deterministic relationships between elements. The latter allows you to decompose the system into simpler blocks and develop control algorithms. The solution to the above problems can be found by: 1) generalization of the structure of resources, works and technological processes for building a general information model of urban passenger transport calendar planning; 2) decomposition of the general problem into a series of problems of sufficient dimension to obtain a solution; 3) choosing an efficiency criterion that is free from cost estimates and takes into account the interests of passengers on the one hand and transport companies on the other; 4) taking into account the redistribution of passenger flows between routes when constructing a set of coordinated mathematical models of calendar planning; 5) refinement of calculation methods for obtaining passenger traffic data.

The purpose of this paper is to identify these patterns and develop a technological information model for managing urban passenger transport.

The way in which this problem can be solved involves the construction of simple and understandable models for transport operators, focused on solving local problems that ensure a quick economic effect. To solve complex problems, you should create software systems consisting of independent and simple software modules.

Keywords: passenger transportation, urban route, mathematical model, decomposition, control automation.

Введение

Работа транспортных единиц на городских маршрутах регламентируется графиками движения. Составление графика требует обработки большого числа исходных данных и обоснованного решения задач нормирования времени кругорейса, распределения ресурсов транспортных единиц, закрепления транспортных единиц за маршрутами.

Известные в литературе постановки и решения на ЭВМ задач составления графиков движения выполнены без учета особенностей календарного планирования пассажирских перевозок как этапа единого процесса принятия управленческих решений.

Важнейшим вопросом автоматизации календарного планирования внутригородских пассажирских перевозок является выбор математических моделей, описывающих процесс принятия управленческих решений. Среди работ, посвященных общим методологическим проблемам построения математических моделей, следует выделить [1, 3]. Невысокая степень использования существующих моделей для решения практических задач транспортного планирования объясняется большой универсальностью (глобальностью) моделей, их сложностью и высокой стоимостью сбора исходных данных и проведения расчетов, недостаточной обзорностью для специалистов, ответственных за окончательное принятие решений.

Путь, на котором эта проблема может быть решена, предполагает построение простых и понятных для транспортников моделей, ориентированных: на решение задач локального характера, обеспечивающих быстрое получение экономического эффекта. Для решения задач комплексного характера следует создавать программные системы, состоящие из независимых и простых программных модулей. Важным является обеспеченно диалога между лицом, принимающим решение и электронно-вычислительной машиной.

Высказанные соображения соответствуют системному принципу разумной сложности моделей и должны лежать в основе разработки АСУ городским пассажирским транспортом.

При разработке математических моделей можно выделить три уровня исследования: макроэкономический, стохастический и микроэкономический [2].

На макроэкономическом уровне система рассматривается как черный ящик. На основе корреляционного анализа статистических рядов получают усредненные детерминированные соотношения входных и выходных параметров. Среди таких моделей можно отметить уже упомянутые выше модели разделения маршрутов по рангам [6], модели определения дальности поездок [4, 5], объемов перевозок [6, 7], исследования скоростей движения транспортных единиц [8–10],

прогнозирования [11]. Несмотря на то, что модели этого типа подкупающе просты, они не могут использоваться в АСУ пассажирскими перевозками по причинам, указанным в [12] Н. Винером: "... долговременные статистические ряды, составленные при весьма изменчивых условиях, дают лишь кажущуюся, ложную точность. Современный аппарат теории малых выборок, как только он выходит за рамки простого подсчета своих собственных, специально определенных параметров и превращается в метод положительных статистических выводов для новых случаев уже не внушает мне никакого доверия".

Под математическими моделями второго уровня понимаются модели, построенные на основе теории систем массового обслуживания. Наибольшее распространение получили модели, рассматривающие маршрут городского пассажирского транспорта как систему массового обслуживания с пуассоновским потоком поступления заявок (интенсивностью пассажиропотока I) и интенсивностью обслуживания m [13–20]. В работе [21] маршрут рассматривается как одноканальная система массового обслуживания. Для определения времени ожидания пассажиров используются следующие параметры маршрута:

- N – число транспортных единиц на маршруте;
- I – интенсивность пассажиропотоков;
- t – интервал движения транспортных единиц;
- $T_{кр}$ – время кругорейса;
- C – средняя вместимость транспортной единицы;
- L – длина маршрута;
- A – средняя дальность поездки на маршруте.

Поступление заявок в системе является пуассоновским с интенсивностью I . Время обслуживания распределено по произвольному закону с дисперсией $D(t)$, интенсивностью обслуживания m и определяется выражением $m = (N * C * L) / (T_{кр} * A)$.

Математическое ожидание времени ожидания одного пассажира определяется на основе модели Поллачека – Хинчина [22], где $r = 1/m < 1$. $M(T_{ож}) = (I * D(T) + r) / (2 * I * (1-r))$.

Суммарное время ожидания всех пассажиров на отрезке времени T_0 составит $T_c = M(T_{ож}) * I * T_0$. Среднее время ожидания пассажира при выполнении условия регулярности движения ($t = const$)

$$T = (r^2 + I * t) / (2 * I * (1-r)).$$

При отклонениях от графика с дисперсией $D(T)$ среднее время ожидания

$$T = (r^2 + I * t + (I * VD + r^2) / (2 * I * (1-r))).$$

Следует отметить, что модели на основе теории систем массового обслуживания являются достаточно простыми и могут быть использованы при разработке АСУ городским пассажирским транспортом для описания отдельных сторон функционирования системы.

К моделям третьего уровня относят аналитические и алгоритмические модели, основанные на использовании общих методов и вычислительно-поисковых процедур математического программирования, а также методов теории расписаний [23]. Модели названного класса получили наиболее широкое распространение. Серьезные успехи достигнуты в области построения моделей формирования пассажирских транспортных потоков.

Сложность, случайный характер процессов в системе, ограниченное время для принятия решений обуславливает моделирование с использованием ЭВМ как единственный метод, позволяющий решать задачи управления транспортом. Разработанные модели, как правило, ориентированы на решение задач одного из следующих классов: проектирование структуры и ресурсов системы, календарное планирование и оперативное управление. Наиболее распространены в нашей стране и за рубежом математические модели проектирования маршрутных схем. Ведется интенсивная разработка моделей календарного планирования (составление графиков движения и расписаний).

Информационная технологическая модель управления

Необходимо разработать комплекс согласованных математических моделей, удовлетворяющий следующим общим требованиям:

- полный учет всех сторон деятельности системы и интересов всех составных частей;
- простота и понятность отдельных процедур принятия решений для лиц, принимающих в системе управленческие решения;
- возможность реализации алгоритмов существующими техническими средствами.

Конкретным специфическим для внутригородских пассажирских перевозок является требование учета перераспределения пассажиропотоков между маршрутами при изменении интервала движения транспортных единиц.

Решение перечисленных выше проблем можно найти путем:

- обобщения структуры ресурсов, работ и технологических процессов для построения общей информационной модели календарного планирования городского пассажирского транспорта;
- декомпозиции общей задачи на ряд задач достаточной для получения решения размерности;
- выбора критерия эффективности, свободного от издержек стоимостных оценок и учитывающего интересы пассажиров с одной стороны и транспортных предприятий с другой;
- учета перераспределения пассажиропотоков между маршрутами при построении комплекса согласованных математических моделей календарного планирования;
- уточнения расчетных методов получения данных о пассажиропотоках.

Целью автоматизации календарного планирования внутригородских пассажирских перевозок является получение графиков движения транспортных единиц по маршрутной сети города, обеспечивающих удовлетворение потребностей пассажиров в перевозках при минимальных затратах транспортных предприятий и городских структур.

Основные предпосылки для формулировки общей задачи календарного планирования пассажирских перевозок получают через обобщение структуры ресурсов и технологических операций процесса перевозки пассажиров. Для такого обобщения выполняется анализ городского пассажирского транспорта как сложной системы. Система понимается как целостность, определяемая некоторой организующей общностью этого целого [1]. Организующей общностью являются в первую очередь: задача перевозки пассажиров в пределах города, общность средств выполнения задачи, исторически сложившаяся структура управления. Представление системы в виде компонент, между которыми выполнены некоторые отношения, является моделью, позволяющей понять и описать поведение системы. Модель системы в виде компонент и их отношений может быть представлена различными способами. Следует учесть, что городской пассажирский транспорт является подсистемой более общей системы "город".

Для постановки общей задачи календарного планирования внутригородских пассажирских перевозок наибольший интерес представляют параметрические связи компонент.

Транспортная сеть города характеризуется тремя основными группами параметров: условия движения, связность транспортной сети, обеспечивающая проезд между любыми двумя пунктами и наличие мест допустимых остановок транспортных единиц. К условиям движения относятся: покрытие улиц, интенсивность транспортных потоков, геометрия улиц, ограничения правил дорожного движения, включая перекрестки, светофоры, дорожные знаки, мосты, переезды и т. п. Интенсивность транспортных потоков и ограничения дорожного движения (светофоры, помехи) имеют случайный характер.

Характеристиками маршрутной сети являются:

- граф сети, определяющий номера маршрутов и перечень остановочных пунктов на каждом маршруте;
- координаты дуг и вершин графа на транспортной сети города;
- интенсивность появления пассажиров на остановке i с целью проезда к остановке j в зависимости от времени;
- координаты пунктов отстоя транспортных единиц;
- координаты пунктов контроля соблюдения графиков движения.

Следует отметить, что интенсивность пассажиропотоков имеет случайный характер и может быть оценена по среднему значению для множества реализаций в сходных условиях перевозок. Граф сети меняется как целенаправленно, так и случайным образом при незапланированных закрытиях транспортных магистралей.

Основными параметрами транспортных предприятий являются: число транспортных единиц и их типы, координаты предприятий на транспортной сети, мощность обслуживающих и ремонтных служб, финансовые возможности, число и квалификация водителей.

Транспортные единицы характеризуются вместимостью, требованиями к квалификации водителей, принадлежностью к транспортному предприятию, техническими характеристиками.

Характеристики пассажиропотоков проявляются через интенсивность появления пассажиров на остановочных пунктах маршрутов.

Задача управления как целенаправленного процесса переработки информации в городском пассажирском транспорте может быть сформулирована в общем виде так (рисунок 1). На территории города имеются источники пассажирского спроса с интенсивностью $A_i(t)$ и точки завершения поездок с интенсивностью $B_j(t)$. Потребность в поездках от источников i к стокам j характеризуется матрицей пассажирских корреспонденций $L[i, j, t]$. Перевозки могут осуществляться по транспортной сети города, на которой имеется множество путей от каждого источника к стоку $S(i, j) = \{s(i, j, k)\}$, $k = 1 \dots K(i, j)$. Зная характеристики транспортной сети и транспортных единиц, требуется найти такое множество путей транспортных единиц $Pn(t)$, которое обеспечивало бы потребности в поездках минимальным числом N транспортных единиц.

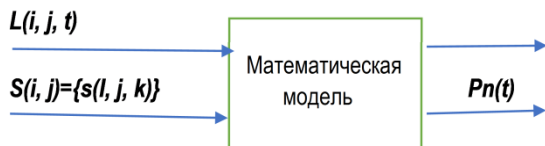


Рисунок 1 – Общая информационная модель системы пассажирских перевозок

Сформулированная оптимизационная задача не может быть решена на глобальной модели в виду целого ряда причин. Кроме причин общего характера, а именно: необозримость внутренних связей модели с точки зрения разработчика; ограничения, накладываемые средствами вычислительной техники и системами программирования; ограниченность времени разработки, существует ряд специфических особенностей рассматриваемой системы, вызывающих необходимость декомпозиции управляющей структуры. Социальный характер системы приводит к ограничениям психологического типа. Определенный уровень профессиональной квалификации водителя, диспетчера (т. е. лица, принимающего решения в системе управления), ограниченные знания пассажиром территории города, возможности оперативной информации о пути следования транспортных единиц, естественно привели к выделению одного из уровней иерархии в управлении городским пассажирским транспортом – введении достаточно стабильной сети маршрутов $M = \{m\}$ движения транспортных единиц. В связи с этим возникает задача маршрутизации, т. е. разработки сети маршрутов городского пассажирского транспорта. Частота принятия решений на этом уровне колеблется от нескольких лет до нескольких раз в год.

С введением маршрутов появляется возможность получения информации о числе вошедших в транспортную единицу на каждом остановочном пункте пассажиров $A_i(t)$ и числе вышедших $B_j(t)$. Полной информацией о пассажиропотоках является матрица межостановочных корреспонденций $X_{ij}(t)$. На основе этих данных и данных о числе транспортных единиц решается задача планирования работы транспортных единиц на маршрутах. Такая задача решается от сотен до нескольких тысяч раз в год.

Стохастические изменения пассажиропотоков $DX_{ij}(t)$, технического состояния транспортных единиц DN и условий движения DM требуют введения еще одного уровня иерархии управления – оперативного диспетчерского управления. Его назначение – своевременная корректировка графиков движения.

Управление на третьем уровне иерархии производится в реальном масштабе времени, периодичность решения задач – десятки тысяч раз в год.

По числу информационных связей между собой и с внешними системами (например, "город"), по методам получения исходной информации и периодичности принятия управленческих решений целесообразно выделить три уровня иерархии системы управления городским пассажирским транспортом: маршрутизация, календарное планирование, оперативное управление (рисунок 2).

Следует отметить, выбранное подразделение системы на иерархические уровни во многом соответствует сложившейся организации управления, однако в данном случае основным признаком подразделения является временной.

Иерархическая структура управления обладает рядом преимуществ по сравнению с централизованной. Можно отметить возможность разумного сочетания локальных критериев каждого уровня и глобально-

го критерия системы в целом, значительное сокращение потоков информации на каждом уровне по сравнению с централизованной системой, увеличение надежности и гибкости системы в целом.

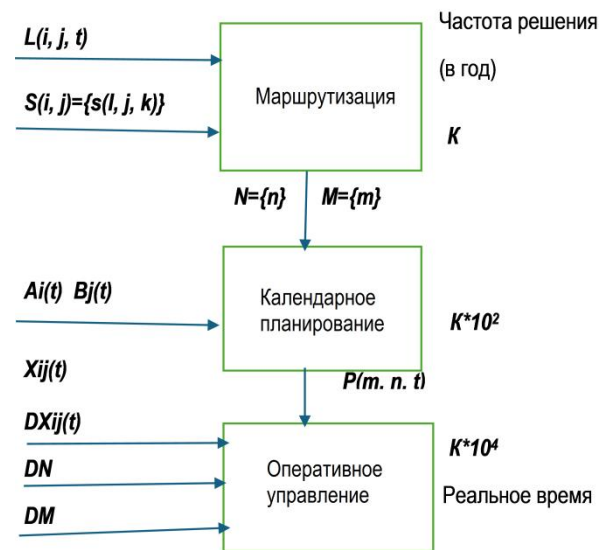


Рисунок 2 – Технологическая информационная модель управления городскими пассажирскими перевозками

Объектом дальнейшего рассмотрения является второй уровень иерархии в системе управления – календарное (текущее) планирование (рисунок 3).

По аналогии с традиционной задачей календарного планирования производства задачу планирования внутригородских пассажирских перевозок можно сформулировать следующим образом.

Имеется потребность в поездках по маршрутной сети города $I(t)$, заданная матрицами межостановочных корреспонденций $\{X_{ijm}(t)\}$, где m – маршрут, i – номер начальной остановки, j – номер конечной остановки поездки, X – число пассажиров. Поездки выполняются на маршрутной сети $\{m\}$.

Потребность в поездках удовлетворяется N транспортными единицами, каждая из которых n на маршруте m имеет производительность по снятию потребности Cnm за некоторую единицу времени. Определим такую последовательность выхода каждой транспортной единицы n на маршруте m в рейс $r Tnmr$, чтобы суммарное время ожидания пассажиров было минимальным. Схематически задачу можно изобразить таким образом (рисунок 3):

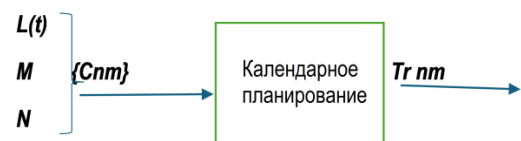


Рисунок 3 – Информационная технологическая модель задачи календарного планирования

Размерность такой задачи очень велика с точки зрения получения точного решения. Так, для города с миллионным населением число элементов матриц корреспонденций порядка $K * 10^6$, число координат векторов маршрутов – $K * 10^3$, число транспортных единиц – $K * 10^3$. Решение задачи точными методами невозможно.

Заключение

Несмотря на большую размерность, результаты решения должны быть получены в короткие сроки, задача должна решаться многократно для исправления графиков движения в связи с изменением ситуации. В силу описанных особенностей решение задачи календарного планирования внутригородских пассажирских перевозок следует искать на пути декомпозиции ее на ряд более простых, т. е. решения приближенными методами с использованием различных правил предпочтения.

Список цитированных источников

1. Гвардейцев, М. И. Специальное математическое обеспечение управления / М. И. Гвардейцев, В. П. Морозов, В. А. Розенберг. – М. : Сов. радио, 1980. – 536 с.
2. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М. : Наука, 1978. – 400 с.
3. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 7-е изд. – М. : Юрайт, 2025. – 343 с.
4. Мельников, В. П. Логистика : учебник для вузов / В. П. Мельников, А. Г. Схиртладзе, А. К. Антонык ; под общ. ред. В. П. Мельникова. – М. : Юрайт, 2022. – 288 с.
5. Ольховский, С. Ю. Исследование и разработка методов совершенствования пассажирской транспортной системы города : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.02 / Ольховский Сергей Юрьевич. – М. : ИКТП, 1983. – 22 с.
6. Кобзев, П. П. Моделирование объёмных показателей работы городского пассажирского транспорта / П. П. Кобзев // Моделирование процессов управления транспортными системами. – Владивосток, 1977. – С. 64–67.
7. Ярошевич, А. В. Состояние и перспективы автоматизации управления городским пассажирским транспортом / А. В. Ярошевич. – Брест, 1983. – 48 с.
8. Кравченко, Е. А. Исследование скоростей движения автобусов на городских и пригородных маршрутах : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.02.11 / Кравченко Евгений Алексеевич ; МАДИ. – М., 1974. – 32 с.
9. Ярошевич, А. В. Программное обеспечение автоматизированной информационной системы специального назначения / А. В. Ярошевич // Проблемы создания и совершенствования технических и программных средств ЭВМ широкого применения. – Минск, 1982. – С. 126.
10. Чернышевский, П. В. К вопросу о нормировании скоростей движения городских автобусов / П. В. Чернышевский // Резервы повышения экономической эффективности работы автотранспортных предприятий. – Саратов, 1979. – С. 48–52.
11. Дармоян, П. А. Методы прогнозирования пассажирских перевозок / П. А. Дармоян, Н. Г. Кучевский. – Минск : Наука и техника, 1975. – 88 с.
12. Винер, Н. Кибернетика / Н. Винер. – 2-е изд. – М. : Сов. Радио, 1983. – 216 с.
13. Баскин, Э. М. О времени ожидания пассажира на автобусной остановке / Э. М. Баскин // Теория и средства автоматизации. – М. : Наука, 1968.
14. Воркут, А. И. Моделирование процессов накопления грузов и пассажиров в транспортных системах. / А. И. Воркут. – Киев : Знание, 1977. – 24 с.
15. Лопатин, А. П. Определение необходимого ресурса автомобилей-такси для удовлетворения заданной потребности в передвижении / А. П. Лопатин, Л. А. Мальгинов // Вопросы проектирования автоматизированных систем управления транспортом. – Омск, 1976. – С. 11–21.
16. Макаров, И. П. Автоматизация управления городским транспортом / И. П. Макаров, В. З. Ямпольский. – М. : Транспорт, 1981. – 152 с.
17. Половников, В. С. Вопросы проектирования автоматизированных систем управления транспортом / В. С. Половников, С. Ю. Ольховский // Вопросы проектирования автоматизированных систем управления транспортом. – Омск, 1976. – Вып. 2. – С. 82–89.
18. Раскин, Е. М. Аналитическая модель времени ожидания на маршрутизированном пассажирском транспорте / Е. М. Раскин // Вопросы проектирования автоматизированных систем управления транспортом. – Омск, 1976. – Вып. 2. – С. 90–96.
19. Ярошевич, А. В. Алгоритм распределения ресурсов в автоматизированной системе управления транспортом / А. В. Ярошевич. – Брест, 1985. – 8 с.
20. Ярошевич, А. В. Анализ системы и синтез информационной модели АСУ на этапе макропроектирования / А. В. Ярошевич // Проблемы разработки и эксплуатации автоматизированных систем управления на предприятиях радиотехнической, электронной, приборостроительной и машиностроительной продукции. – Могилев, 1981. – Ч. 2. – С. 144–145.
21. Глик, Ф. К. Обследование передвижений населения Минска / Ф. К. Глик // Городской транспорт. – Киев : Будівельник, 1976. – Вып. 3. – С. 39–54.
22. Саати, Т. Элементы теории массового обслуживания и ее применения / Т. Саати. – М. : Сов. Радио, 1971. – 520 с.
23. Дегтярев, Ю. М. Методы оптимизации / Ю. М. Дегтярев. – М. : Сов. Радио, 1980. – 270 с.

References

1. Gvardejev, M. I. Special'noe matematicheskoe obespechenie upravleniya / M. I. Gvardejev, V. P. Morozov, V. A. Rozenberg. – M. : Sov. radio, 1980. – 536 s.
2. Buslenko, N. P. Modelirovanie slozhnyh sistem / N. P. Buslenko. – M. : Nauka, 1978. – 400 s.
3. Sovetov, B. YA. Modelirovanie sistem : uchebnik dlya vuzov / B. YA. Sovetov, S. A. YAkovlev. – 7-e izd. – M. : YUrajt, 2025. – 343 s.
4. Mel'nikov, V. P. Logistika : uchebnik dlya vuzov / V. P. Mel'nikov, A. G. Skhirtladze, A. K. Antonyuk ; pod obshch. red. V. P. Mel'nikova. – M. : YUrajt, 2022. – 288 s.
5. Ol'hovskij, S. YU. Issledovanie i razrabotka metodov sovershenstvovaniya passazhirskoj transportnoj sistemy goroda : avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk : 05.22.02 / Ol'hovskij Sergej YU'evich. – M. : IKTP, 1983. – 22 s.
6. Kobzev, P. P. Modelirovanie ob'jomnyh pokazatelej raboty gorodskogo passazhirskogo transporta / P. P. Kobzev // Modelirovanie processov upravleniya transportnymi sistemami. – Vladivostok, 1977. – S. 64–67.
7. YArashevich, A. V. Sostoyanie i perspektivy avtomatizacii upravleniya gorodskim passazhirskim transportom / A. V. YArashevich. – Brest, 1983. – 48 s.
8. Kravchenko, E. A. Issledovanie skorostej dvizheniya avtobusov na gorodskih i prigorodnyh marshrutah : avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk : 05.02.11 / Kravchenko Evgenij Alekseevich ; MADI. – M., 1974. – 32 s.
9. YArashevich, A. V. Programmnnoe obespechenie avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy special'nogo naznacheniya / A. V. YArashevich // Problemy sozdaniya i sovershenstvovaniya tekhnicheskij i programmyh sredstv EVM shirokogo primeneniya. – Minsk, 1982. – S. 126.
10. CHernyshevskij, P. V. K voprosu o normirovanii skorostej dvizheniya gorodskih avtobusov / P. V. CHernyshevskij // Rezervy povysheniya ekonomicheskoj effektivnosti raboty avtotransportnyh predpriyatij. – Saratov, 1979. – S. 48–52.
11. Darmoyan, P. A. Metody prognozirovaniya passazhirskih perevozok / P. A. Darmoyan, N. G. Kuchevskij. – Minsk : Nauka i tekhnika, 1975. – 88 s.
12. Viner, N. Kibernetika / N. Viner. – 2-e izd. – M. : Sov. Radio, 1983. – 216 s.
13. Baskin, E. M. O vremeni ozhidaniya passazhira na avtobusnoj ostanovke / E. M. Baskin // Teoriya i sredstva avtomatiki. – M. : Nauka, 1968.
14. Vorkut, A. I. Modelirovanie processov nakaplivaniya vuzov i passazhirov v transportnyh sistemah. / A. I. Vorkut. – Kiev : Znanie, 1977. – 24 s.
15. Lopatin, A. P. Opredelenie neobhodimogo resursa avtomobilej-taksi dlya udovletvoreniya zadannoj potrebnosti v peredvizhenii / A. P. Lopatin, L. A. Mal'ginov // Voprosy proektirovaniya avtomatizirovannyh sistem upravleniya transportom. – Omsk, 1976. – S. 11–21.
16. Makarov, I. P. Avtomatizaciya upravleniya gorodskim transportom / I. P. Makarov, V. Z. YAmopol'skij. – M. : Transport, 1981. – 152 s.
17. Polovnikov, V. S. Voprosy proektirovaniya avtomatizirovannyh sistem upravleniya transportom / V. S. Polovnikov, S. YU. Ol'hovskij // Voprosy proektirovaniya avtomatizirovannyh sistem upravleniya transportom. – Omsk, 1976. – Vyp. 2. – S. 82–89.
18. Raskin, E. M. Analiticheskaya model' vremeni ozhidaniya na marshrutizirovannom passazhirskom transporte / E. M. Raskin // Voprosy proektirovaniya avtomatizirovannyh sistem upravleniya transportom. – Omsk, 1976. – Vyp. 2. – S. 90–96.
19. YArashevich, A. V. Algoritm raspredeleniya resursov v avtomatizirovannoj sisteme upravleniya transportom / A. V. YArashevich. – Brest, 1985. – 8 s.
20. YArashevich, A. V. Analiz sistemy i sintez informacionnoj modeli ASU na etape makroproektirovaniya / A. V. YArashevich // Problemy razrabotki i ekspluatatsii avtomatizirovannyh sistem upravleniya na predpriyatiyah radiotekhnicheskoy, elektronnoj, priborostroitel'noj i mashinostroitel'noj produkcii. – Mogilev, 1981. – CH. 2. – S. 144–145.
21. Glik, F. K. Obsledovanie peredvizhenij naseleniya Minska / F. K. Glik // Gorodskoj transport. – Kiev : Budivel'nik, 1976. – Vyp. 3. – S. 39–54.
22. Saati, T. Elementy teorii massovogo obsluzhivaniya i ee primeneniya / T. Saati. – M. : Sov. Radio, 1971. – 520 s.
23. Degtyarev, YU. M. Metody optimizacii / YU. M. Degtyarev. – M. : Sov. Radio, 1980. – 270 s.

Материал поступил 09.12.2025, одобрен 30.12.2025, принят к публикации 06.01.2026