

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭМПИРИЧЕСКИМ ПУТЕМ

Нефедов В.В., Русских М.В.

Особенностью частных пассажирских перевозок (ПП) в ряде российских городов является низкий уровень их организации. Это связано с неупорядоченным планированием маршрутов движения пассажирских автотранспортных средств преимущественно по тем участкам улично-дорожной сети (УДС), на которых сосредоточены массовые пассажиропотоки. В связи с повышением уровня автомобилизации и увеличением подвижности населения на фоне недостаточных темпов развития УДС остро стоит проблема оптимизации ПП, направленная на динамическую адаптацию их к постоянно меняющимся условиям. Особое внимание в этом вопросе следует уделить прогнозированию пассажиропотока по часам суток и дням недели, а также прогнозированию дорожных условий.

В данный момент большинство пассажироперевозчиков не имеют достоверной информации о перевозимых пассажирах по часам суток. Это вызывает определенные трудности в планировании графика движения, т.к. неизвестно, сколько может понадобиться автобусов на перевозку. Решение этой проблемы заключается в краткосрочном прогнозировании пассажиропотока, которое позволит с большой вероятностью посчитать загруженность маршрута на ближайшее время и как следствие корректировать количество автобусов на линии.

Для автоматического определения количества пассажиров, перевозимых единицей городского транспорта, существуют разнообразные способы. Рассмотрим самые распространенные из них.

- 1) Контактно-турникетный способ предполагает вести подсчет перевозимых пассажиров при помощи установки в салоне автобуса специальных турникетов. Есть возможность совмещения с ними систем оплаты проезда. Достоинством такой системы является большая точность подсчета. К недостаткам можно отнести затруднение заполнения салона, так как посадка будет вестись через переднюю дверь.

- 2) Способ подсчета пассажиров с помощью датчиков, выполненных в виде ступеньки. Они устанавливаются на входе в автобус в виде специальных пластин, которые реагируют на нажатие. При наличии в автобусе двух ступенек имеется возможность установления двух датчиков для подсчета входящих и выходящих пассажиров. Недостатком такой системы является механическое воздействие пассажиров на датчики, что приводит к их быстрому износу.
- 3) Способ подсчета пассажиров с помощью инфракрасных датчиков. Они бывают активного и пассивного типа. На практике рекомендуется применять устройства, включающие оба типов датчиков. Точность подсчета варьируется от 70 % до 95 % в зависимости от выбора производителя. Имеется возможность учета входящих и выходящих пассажиров.
- 4) Способ подсчета пассажиров с использованием датчиков, позволяющих получать 3D изображение пространства. Принцип действия заключается в отправке лазерных импульсов в быстрой последовательности в ИК - диапазоне. Они отражаются от объектов и улавливаются датчиком. Расстояние до объекта определяется путем вычисления разницы между временем отправки и принятия импульса. Это позволяет отличать людей от объектов. Точность подсчета достигает 96 %. Имеется возможность учета входящих и выходящих пассажиров.
- 5) Способ подсчета пассажиров с помощью видеокамер в салоне автобуса. В данном случае подсчет пассажиропотока может вестись как вручную, что очень не рационально, так и в автоматическом режиме с использованием специального программного обеспечения. Этот способ имеет низкую точность подсчета, а также сложности с установкой, так как нужно учитывать, чтобы пассажиры не закрывали обзор камерам.

Каждый из рассмотренных методов имеет возможность работы как в режиме реального времени, так и в режиме «черного ящика», сохраняя информацию на носитель. Характеристика режимов приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Режимы получения данных

Вид режима	Описание	Преимущества	Недостатки
Режим реального времени	Данные от подвижных объектов поступают на диспетчерский пункт автоматически или по	Связь с объектом оперативная. В любой момент времени можно установить его местоположение и	Более высокая стоимость эксплуатации системы за счет

	запросу диспетчера по каналам GSM/GPRS	информацию о состоянии датчиков. Поддерживается голосовая связь с водителем	оплаты услуг сотового оператора
Режим «черного ящика»	Данные хранятся в памяти бортового устройства и становятся доступными для анализа по прибытии автомобиля на диспетчерский пункт	Низкая стоимость эксплуатации системы	Отсутствует возможность оперативного получения данных об объекте

Анализируя вышеописанные способы подсчета пассажиропотока можно сделать вывод, что для задачи прогнозирования наиболее подходят инфракрасные датчики, так как они имеют допустимую точность подсчета, достаточную для оценки объема перевозок, а также не подвержены механическим воздействиям и имеют достаточно низкую цену.

На основе полученных статистических данных можно судить о мощности, напряженности пассажиропотока по отдельным частям маршрута или в целом по его длине, объеме перевозок. Графически пассажиропотоки изображаются в виде эюр (рис. 1, 2, 3). где по оси ординат откладываются их величины, а по оси абсцисс дискретно время суток, дни недели, месяцы года, спрямленная длина маршрута и указывается направление движения.

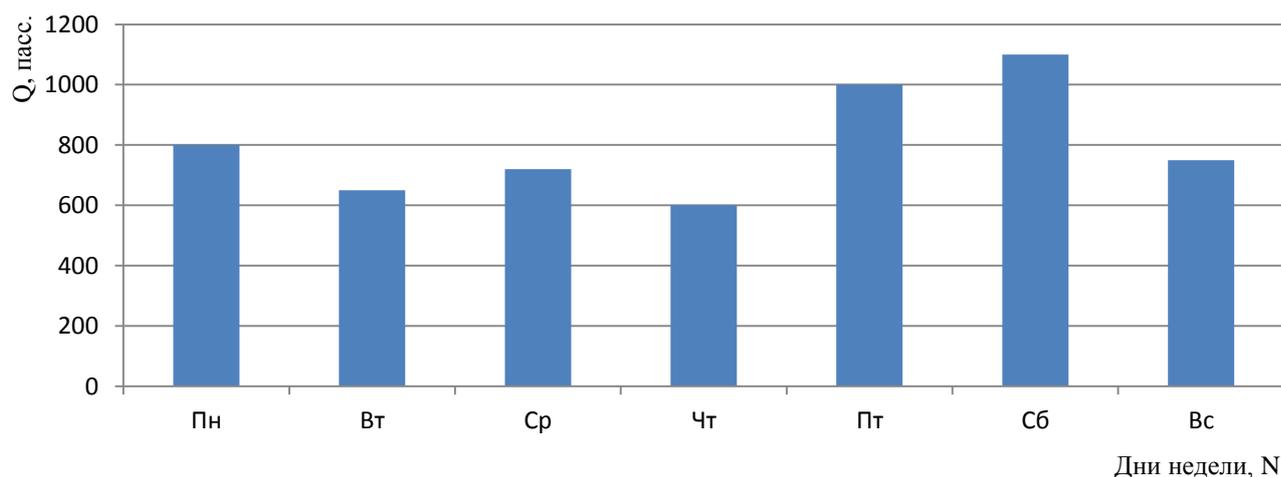


Рисунок 1 – Эюра распределения пассажиропотока по дням недели

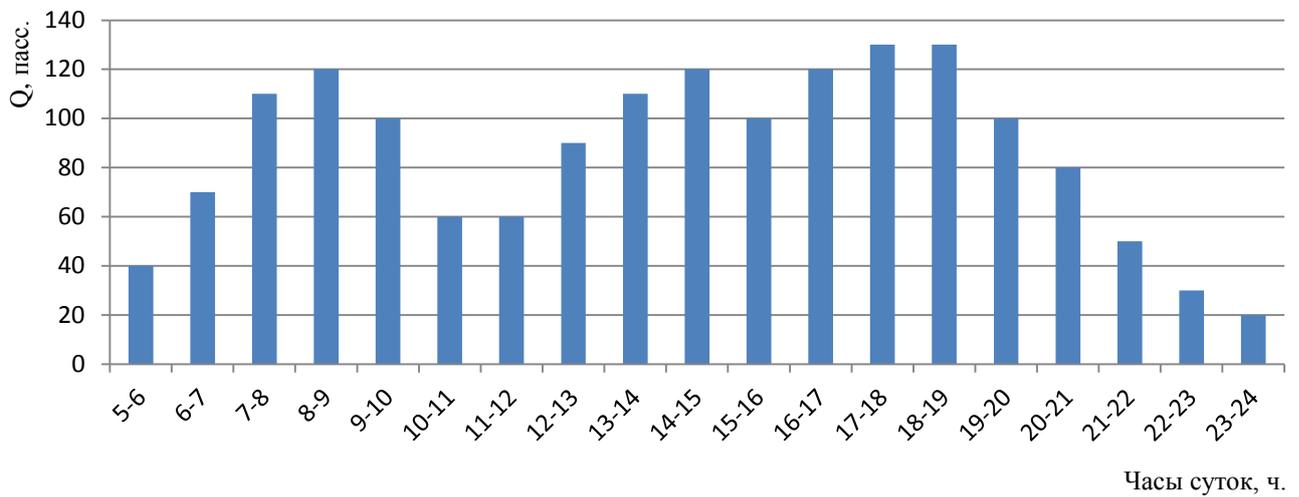


Рисунок 2 – Эпюра распределения пассажиропотока по часам суток

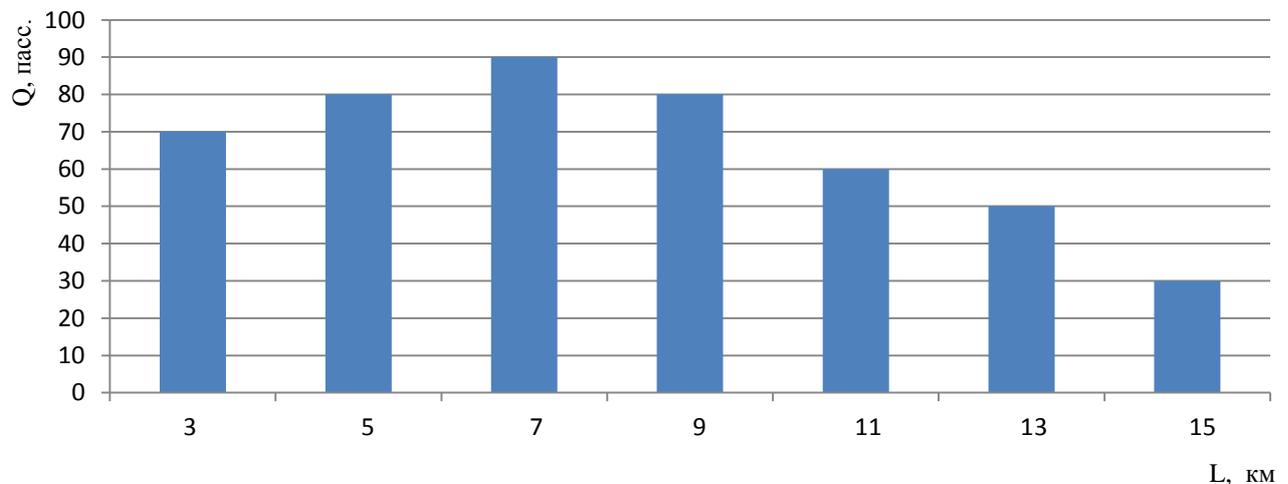


Рисунок 3 – Эпюра распределения пассажиропотока по длине маршрута

Из эпюр видно, что городским пассажироперевозкам характерны резкие колебания пассажиропотока по часам суток (возрастают в часы поездок населения на работу и с работы и уменьшаются в утренние, дневные и вечерние «не пиковые» часы), а также по дням недели (в предвыходные дни пассажиропоток возрастает, а в будние уменьшается).

Разработка алгоритма краткосрочного прогноза пассажиропотока связана с учетом многих факторов, которые образуются как под действием причинно-следственных связей, так и по причине неопределенности. Последние усложняют задачу и требуют использовать в комплексе функциональные и вероятностно-статистические методы для получения конкретных решений. Задача краткосрочного прогнозирования заключается в определении значения пассажиропотока $y(t_{n+1})$, $y(t_{n+2})$, ..., если известны значения $y(t_1)$, $y(t_2)$, ..., $y(t_n)$ и значения факторов,

влияющие на прогнозное значение потока в моменты t_0, t_1, \dots, t_n и в моменты t_{n+1}, t_{n+2} .

Представим эти факторы в виде матрицы $|\Phi|$:

$$|\Phi| = \begin{pmatrix} \Phi_{111}^{11} & \Phi_{121}^{11} & \dots & \Phi_{1jl}^{kl} & \dots & \Phi_{1hn}^{mT} \\ \Phi_{211}^{11} & \Phi_{221}^{11} & \dots & \Phi_{2jl}^{kl} & \dots & \Phi_{2hn}^{mT} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Phi_{i11}^{k1} & \Phi_{i21}^{k1} & \dots & \Phi_{ijl}^{kl} & \dots & \Phi_{ihn}^{mT} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Phi_{s11}^{p1} & \Phi_{s21}^{p1} & \dots & \Phi_{sjl}^{pl} & \dots & \Phi_{shn}^{mT} \end{pmatrix},$$

где в Φ_{ijl}^{kl} – i -тый фактор, определяющий величину пассажиропотока в $-$ тый час l -того дня k -того месяца I -того года. Величины i, l, j, k, I имеют следующие значения:

- $i - 1, 2, \dots, S$;
- $j - 1, 2, \dots, 24$;
- $l - 1, 2, \dots, 30, 31$;
- $k - 1, 2, \dots, 11, 12$;
- $I - 1, 2, \dots, T$.

Состав исходных факторов включает:

- Φ_1 отражает час дня.
- Φ_2 признак типа дня. В отношении этого фактора была принята следующая система кодирования: 1 – послепраздничные и послевыходные дни, 2 – полные рабочие дни недели, 3 – выходные, 4 – суббота, 5 – праздничные дни, 6 – воскресенье, 7 – предвыходные дни, 8 – предпраздничные дни.
- Φ_3 – признак месяца, кодируется следующим образом: 1 – январь, февраль, март, 2 – апрель, май, 3 – сентябрь, октябрь, 4 – ноябрь, декабрь, 5 – июнь, 6 – июль, 7 – август.
- Φ_4 – признак декады внутри месяца. Коды: 1 – дни первой декады, 2 – дни второй декады, 3 – дни третьей декады.
- Φ_5 – признак новизны информации. Значения кодируются таким образом, чтобы по мере приближения к прогнозной ситуации они возрастали.
- Φ_6 – средняя температура воздуха для суток, отстоящих от прогнозного дня на 24 часа.
- Φ_7 – то же для суток, отстоящих на 48 часов.
- Φ_8 – средняя температура воздуха в прогнозные сутки.

- Φ_9, Φ_{10} – соответственно осадки для суток, отстоящих от прогнозных на 24 и 48 часов.
- Φ_{11} - количество осадков в сантиметрах для прогнозных суток.
- Φ_{12} - показатель облачности для рассматриваемых суток в баллах.

Далее выполняем процедуру вычисления базисного значения пассажиропотока. С этой целью отбирается M ситуаций, в которых факторы $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ совпадают со значениями этих факторов в прогнозный день. Если указанные ситуации относятся к одному и тому же году, то базисное значение потока пассажиров определяется по формуле [1]:

$$\bar{y}_{j+1,l}^{kT} = \frac{1}{M} \sum_{r=1}^M \left[\bar{y}_{r(q),l}^{kT} * \sum_{c=M-(r-1)}^M \frac{1}{c} \right],$$

где $\bar{y}_{r(q),l}^{k,T}$ – значение потока пассажиров в j - час l - того дня k - того месяца года T ; M – число ситуаций, в которых значения факторов $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ совпадают с соответствующими значениями в прогнозный день; r – текущее значение номера ситуации, где $r = 1, 2, 3, \dots, M$.

После выделения базисной составляющей осуществляется приближение величины потока к реальным данным с учетом факторов $\Phi_5 - \Phi_{12}$. Это делается посредством остаточного метода, суть которого заключается в определении ошибки прогноза после выделения базисной составляющей. На основании полученных результатов выбирается модель необходимой сложности.

Отклонения действительных значений от прогнозных вычисляются по формуле [1]:

$$\Delta y_{jl}^{kl} = y_{jl}^{kl \text{ действ.}} - y_{jl}^{kl \text{ прог.}}$$

По данным Δy_{jl}^{kl} выбирается модель необходимой сложности. В результате получаем уравнение, составленное для отклонений прогнозных величин:

$$\Delta \bar{y}_{jl}^{kl} = \sum_{\mu=1}^8 F(b_{\mu} * \Phi_{\mu jl}^{kl}), \quad (1)$$

где b_{μ} – коэффициент уравнения регрессии приращения потока Δy_t^{kl} ; $\Phi_{\mu jl}^{kl}$ – значения факторов, определяющих приращение потока пассажиров в j - тый l – того дня k - того месяца I – того года.

Прогноз приращения пассажиропотока в j - тый час l - того дня определяется подстановкой в формулу (1) значений факторов для дня прогноза. В результате

прогноза базисной составляющей и приращений пассажиропотока, зависящих от факторов $\Phi_5 - \Phi_{12}$, можно определить ожидаемый пассажиропоток по формуле [1]:

$$y_{jl\text{прог}}^{kl} = \bar{y}_{ji}^{kl} + \sum_{\mu=1}^8 F(b_{\mu} * \Phi_{\mu jl}^{kl}).$$

Использование рассмотренной формулы позволяет осуществить эффективный краткосрочный прогноз. Однако наличие случайных факторов, таких как аварийные ситуации, непредсказуемое изменение характера деятельности населения, ошибки прогнозирования, небольшое число факторов, учитываемых при расчетах, приводят к необходимости учета случайной составляющей.

На основе статистических данных и прогноза при учете всех вышеперечисленных факторов для автобусного маршрута № 94 города Ростова – на – Дону получили следующую диаграмму пассажиропотока (рис. 4):

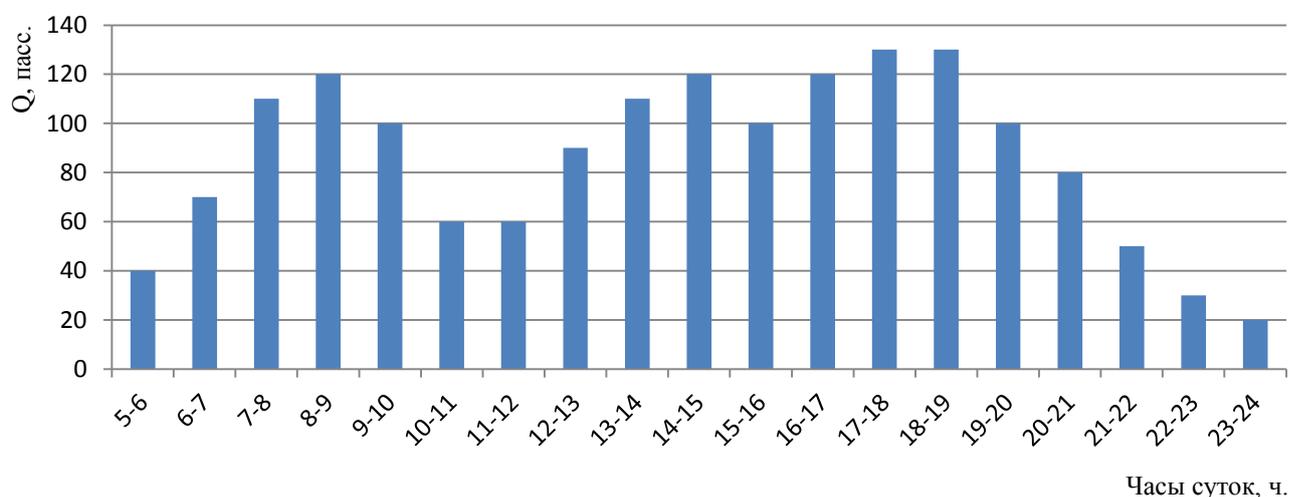


Рисунок 4 - Диаграмма пассажиропотока

Потребное число автобусов по каждому часу определяется согласно выражению:

$$A_{рас} = \frac{y_{jl\text{прог}}^{kl} * T_0 * k_T}{q * T * g},$$

где $A_{рас}$ – необходимое число автобусов по конкретному часу; $y_{jl\text{прог}}^{kl}$ – значение прогнозируемого пассажиропотока по рассчитываемому часу периода движения;

$k_T = 1,5$ – коэффициент неравномерности пассажиропотока во времени ($k_T = \frac{Q_{max}}{Q_{ср}}$,

где Q_{max} – максимальный часовой пассажиропоток, пасс., $Q_{ср}$ – среднечасовой пассажиропоток, пасс.); $q = 20$ – номинальная вместимость автобуса, пасс.; $T = 1$ –

период времени представления информации, ч.; $g = 1$ – коэффициент наполнения автобуса; $T_0 = 1,2 \pm 0,5$ – время оборота автобусов на маршруте, ч..

Расчетное количество автобусов округляем до ближайшего большего целого A_m .

Таблица 2 – Расчет количества автобусов

$N^{n/n}$	$y_{jлпоз}^{kl}$	A_m	$N^{n/n}$	$y_{jлпоз}^{kl}$	A_m	$N^{n/n}$	$y_{jлпоз}^{kl}$	A_m
1	40	4	8	90	8	15	100	9
2	70	7	9	110	10	16	80	7
3	110	10	10	120	11	17	50	5
4	120	11	11	100	9	18	30	3
5	100	9	12	120	11	19	20	2
6	60	5	13	130	12			
7	60	5	14	130	12			

На рисунке 5 приведена диаграмма выпуска автобусов на линию по часам суток.

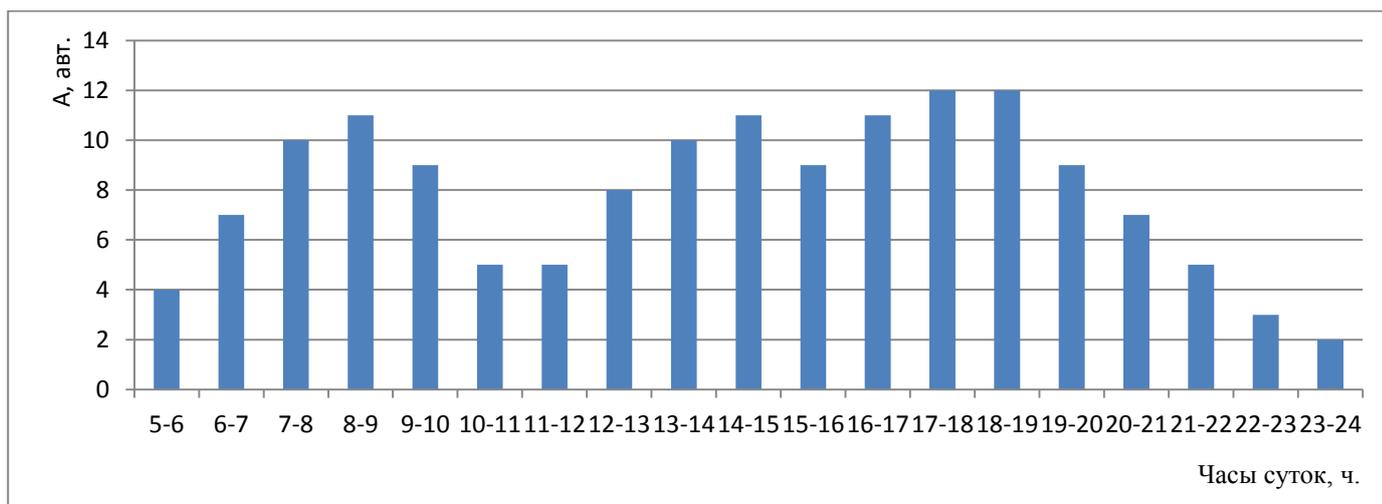


Рисунок 5 - Диаграмма выпуска автобусов на линию по часам суток

Интервал движения, как и число автобусов на линии, изменяется по часам движения в зависимости от величины пассажиропотоков и определяется зависимостью:

$$t_{рас} = \frac{T_o}{A_m}$$

Таким образом, данные методы подсчета количества пассажиров, перевозимых единицей городского пассажирского транспорта, позволят получать объективные данные об объемах пассажирских перевозок на транспорте. Это позволяет судить о реальной загруженности транспорта пассажирами, а также после накопления статистики вести эффективный прогноз востребованности перевозок. Наличие информации о наполнении салона вместе с текущим местоположением транспорта на маршруте позволит кардинально изменить подход к диспетчерскому управлению, перейдя от регулирования интервала на конечной остановке к динамическому изменению расписания при нештатных изменениях дорожных условий и спроса на перевозку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматика и телемеханика. 2003, вып. 11. С. 3-47.
2. *Правдин Н.В., Негрей В.Я.* Прогнозирование пассажирских потоков (методика, расчеты, примеры). М.: Транспорт, 1980.