

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА МАРШРУТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В статье проводится анализ используемых ранее математических моделей и предложена новая модель определения оптимального количества маршрутных транспортных средств, представляющая собой функцию четырех показателей, от которых зависит эффективность функционирования системы городского пассажирского транспорта.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, подвижной состав, маршрут, пассажир, остановочный пункт.

Одним из путей повышения эффективности функционирования парка городского пассажирского транспорта (ГПТ) является определение оптимального количества подвижного состава (ПС) на городских маршрутах.

В настоящее время маршрутные транспортные средства (МТС) одной и той же вместимости эксплуатируются как в больших, так и в малых городах, несмотря на то, что пассажиропотоки в различных городах и на различных маршрутах колеблются в широком диапазоне. Чтобы эффективно использовать ПС, МТС распределяют по маршрутам в соответствии с мощностью пассажиропотоков. Однако в этом случае интересы пассажиров, не удовлетворяющие критериям формирования пассажиропотоков, оказываются ущемленными. Для пассажиров возрастает время ожидания МТС и снижается надежность осуществления поездки. В этом случае для получения желаемой частоты движения необходимо использовать ПС различной вместимости.

Расчет количественных характеристик парка ГПТ должен основываться на разработке экономико-математических моделей, учитывающих особенности функционирования и сложившиеся для технических, технологических, организационных и экономических факторов закономерности.

В зависимости от объекта расчет количества МТС можно производить для города в целом, для транспортного предприятия и для отдельного маршрута (рисунок 1).

При определении количества МТС различают две группы задач, связанных с расчетом текущего и планируемого перспективного количества ПС. Текущее планирование распределяет существующий парк ГПТ по маршрутам и внутри маршрута. Перспективное планирова-

ние не учитывает существующей структуры парка ГПТ.

Существующие методы могут описывать парк ГПТ, состоящий из одного вида МТС, и определять количество МТС различных видов.

Существующие математические модели расчета парка ГПТ можно подразделить в зависимости от методических принципов и подходов, принимаемых за основу при определении целевой функции и ограничений.

Модели могут быть статистическими, если структура парка ГПТ и ее характеристики определяются на фиксированный момент времени, и динамическими, если показатели определяются в виде функций времени. При использовании динамических моделей оптимальная стратегия изменения парка ГПТ ищется как функция времени на заданном интервале планирования, а исходные данные, такие как, например, изменение объемов перевозок, вводятся в модель как функция времени. При этом значения перечисленных функций могут иметь дискретный или непрерывный во времени характер.

Построение моделей основывается на методах математического программирования, теории управления запасами, теории массового обслуживания, а также дифференциальных уравнениях и интегральных функционалах (рисунок 2).

Математическая модель должна быть оптимизационной, а не нормативной, что позволит более обоснованно подходить к количественной оценке парка ГПТ. В качестве критериев оптимизации необходимо принимать технико-экономические и технико-эксплуатационные показатели, оптимизация которых позволяет перевозчикам получать максимальный доход; спрос пассажиров, позволяющий удовлетворять требования пассажиров к перевоз-

кам; критерии технической, дорожной и экологической безопасности, которые выдвигают, как правило, органы муниципальной власти – третьей стороны, входящей в систему ГПТ.

В этом случае ограничения целевой функции должны учитывать потребность в перевозках пассажиров различными видами МТС при условии выполнения заданной программы перевозок, которую задают перевозчики и муниципалитет.

Парк ГПТ, работающий как на отдельном маршруте, так и в городе в целом, представляет собой сложную динамическую систему $S(t)$, состоящую из различных видов МТС $S_i(t) \in S(t)$ (рисунок 3), распределенных по p -м маршрутам, где $p = 1 \dots P$. Каждый вид МТС характеризуется количеством ПС, вместимостью и возрастной структурой $\phi_i(t)$.

Сгруппируем пассажиров по признакам уровня дохода, социальной принадлежности, возрасту и цели поездки. Множество всех пассажиров, сгруппированных по различным

признакам, разобьем на типологические группы A_k . Каждой группе пассажиров ставится в соответствие множество различных видов МТС $S_i(t) \in S(t)$ путем преобразования T_k , которое определяется на основе совместимости типологической группы пассажиров A_k с видом МТС, который совместим с k -м пассажиром. Все множества $T = \bigcap_{k=1}^{k_0} T_k$ можно представить в виде би-

нарной матрицы, показывающей соответствие между типологическими группами пассажиров и видами МТС.

Рассмотрим далее множество видов останочных пунктов (ОП):

$$B_\eta = \{B_\eta^k\}_{k=1}^{n_0},$$

где B_η – η -й вид ОП с пассажиропотоком, соответствующим η -му интервалу разбиения.

На множестве ОП находится k -й пассажир в ожидании МТС определенного маршрута и вида (если пассажир может доехать до места

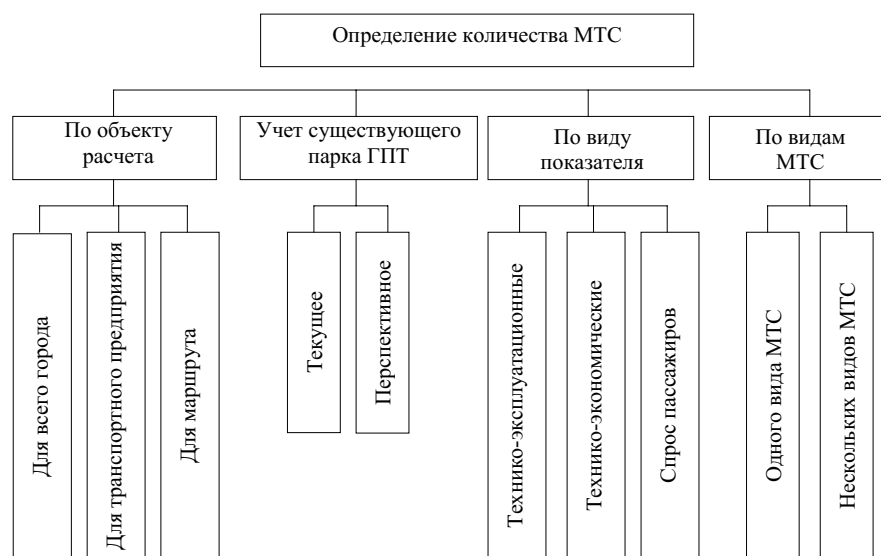


Рисунок 1. Классификация методов определения количества МТС

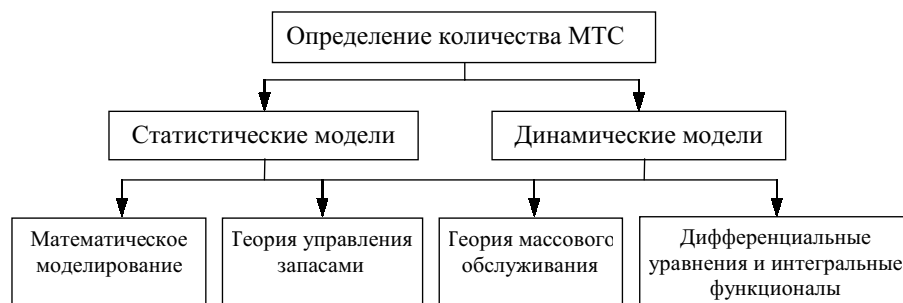


Рисунок 2. Существующие модели для определения количества МТС

назначения любым маршрутом, то он выбирает не только вид МТС, но и номер маршрута). Между множеством остановочных пунктов B_η и парком ГПТ существует соответствие Y , которое задает распределение МТС по ОП. Это соответствие может быть представлено в виде трехмерной матрицы, где для каждого k -го признака пассажира, для i -го вида МТС и η -го вида ОП определена величина Y_{kin} , которая показывает количество МТС i -го вида, находящегося на η -м виде ОП и обслуживающего k -го пассажира.

Целью планирования и организации работы ГПТ является определение такой структуры парка ГПТ $S(t)$, обеспечивающей перевозку пассажиров всех групп пассажиров A_k , находящихся на B_η -м ОП, которая оптимизирует функционал

$$\Phi = \Phi(S(t), A_k, B_k) \rightarrow \text{opt}.$$

Приведенная в общем виде математическая модель планирования и организации работы ГПТ позволяет после конкретизации ее составляющих получить расчетным путем различные показатели процесса перевозок.

Множество всех функционалов Φ зависит от начальных условий в момент времени t_0 и периода планирования Δt , который определяет конечное состояние парка ГПТ в момент времени $t_H = t_0 + \Delta t$.

Для задания начальных условий, при которых будет решаться задача, необходимо описать существующую структуру парка ГПТ по виду МТС и вместимости, задать типологические группы пассажиров, указав их распределение по показателям внутри каждой группы и построить бинарную матрицу T . Определение структуры парка ГПТ в последующие моменты времени с его фиксацией будет характеризовать динамический процесс развития парка ГПТ.

Определение количества МТС различных видов должно опираться на научно обоснованную систему показателей.

К технико-экономическим показателям относятся величины, которые можно в явном виде выразить в денежном выражении: стоимость единицы ПС каждого вида, среднечасовая заработная плата водителя, переменные и постоянные затраты на эксплуатацию данного вида МТС на 1 км пробега, стоимость технического обслуживания и ремонта ПС и др.

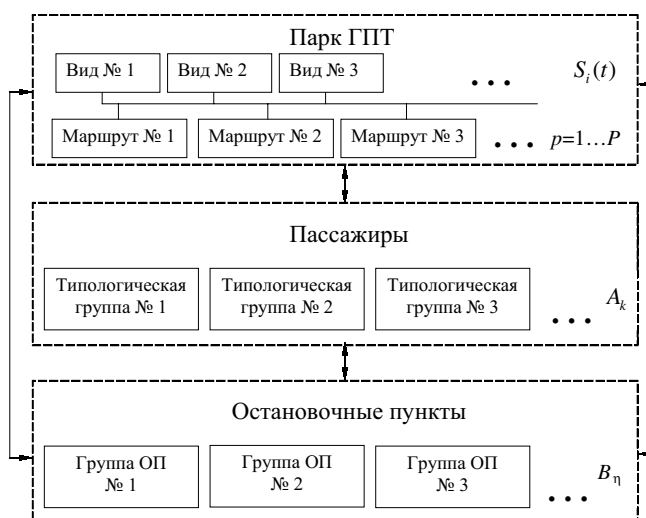


Рисунок 3. Модель функционирования ГПТ

К технико-эксплуатационным показателям относятся: срок службы, квалификация персонала, вероятность безотказной работы ПС, частота движения МТС, количество ОП, расстояние между ОП, коэффициент использования пассажироместности, различные скорости движения и др.

Задача заключается в выборе такого варианта количества МТС различных видов, который бы обеспечивал полное освоение пассажиропотоков по каждому виду ПС с учетом спроса пассажиров, а также пассажирооборота остановочных пунктов и пропускной способности дорог.

Предлагаемая многокритериальная математическая модель определения оптимального количества МТС будет иметь вид:

$$F(C_i, \frac{1}{3_i}, B_i, \mathcal{E}_i) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где C_i – показатель, учитывающий спрос пассажиров на i -й вид МТС; 3_i – показатель, учитывающий общие эксплуатационные затраты на i -й вид МТС; B_i – показатель, учитывающий техническую и дорожную безопасность i -го вида МТС; $\mathcal{E}_i$ – показатель, учитывающий экологическую безопасность i -го вида МТС.

Показатель, учитывающий удовлетворение спроса пассажиров на i -й вид МТС, предлагается определять по формуле:

$$C_i = \frac{\sum_{\eta=1}^N \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^D \delta_{ip}^\eta m_{pn} \gamma_{il} x_{ip}^\eta}{\Pi_i^\eta}, \quad (2)$$

где η – номер ОП, $\eta = 1, \dots, N$; p – номер маршрута, $p = 1, \dots, P$; D – количество видов МТС;

$\delta_{ip}^n = 1$, если i -й вид ПС p -го маршрута следует через η -й ОП и $\delta_{ip}^n = 0$ – в противном случае; m_i – вместимость i -ого вида МТС; n_{pi} – количество рейсов i -го вида МТС за определенный интервал времени; g_i – коэффициент использования вместимости i -го вида МТС, определяемый по методике [1]; X_{ip}^n – количество i -го вида МТС p -го маршрута, проезжающих через η -й ОП; Π_i^n – спрос пассажиров на i -й вид МТС на η -м ОП, определяемый по методике [2].

Для распределения МТС по маршрутам в течение суток предлагается определять показатель по формуле (2) для трех характерных временных отрезков: утреннего и вечернего часов пик и межпикового времени.

Для упорядочения движения ПС различных маршрутов на пересекающихся участках (через общие ОП) и, как следствие, минимизации ситуаций одновременного нахождения на ОП большого количества МТС необходимо проверить модель по ограничениям на пропускную способность дорог:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^D \delta_{ip}^n x_{ip}^n \leq x_{\max}^n, \quad (3)$$

где $x_{\max}^n$ – максимальное количество МТС всех маршрутов и видов, позволяющее проезжать через η -й ОП, которое определяется по формуле [3]:

$$x_{\max}^n = \frac{2l_{ny}I}{v_s(I^2 + \sigma_I^2)}, \quad (4)$$

где l_{ny} – длина пересекающегося участка, км; I – минимально допустимый интервал движения МТС, ч.; v_s – средняя эксплуатационная скорость, км/ч; σ_I – среднее квадратичное отклонение от планового интервала движения (характеризует нерегулярность движения).

Показатель, учитывающий общие эксплуатационные затраты на i -й вид МТС за сутки, предлагается определять по формуле 5.

где C_{Ai} – средняя стоимость i -го вида МТС p -го маршрута, руб.; T_{ci} – расчетный срок службы i -го вида ПС, лет; α_{aip} – коэффициент выпуска на маршрут; $3\Pi_{ei}$ – среднечасовая зарплата водителя i -го вида МТС p -го маршрута с учетом различных дополнительных выплат, руб.; $3\Pi_{ki}$ – среднечасовая зарплата кондуктора i -го вида МТС p -го маршрута с учетом различных дополнительных выплат, руб.; t_{cmip} – средняя продолжительность смены i -го вида МТС p -го маршрута, ч; l – условный номер периода суток, в течение которого на маршруте эксплуатируется постоянное количество ПС; C_{ni} – переменные затраты на 1 км пробега i -го вида МТС, руб.; v_{aip} – эксплуатационная скорость i -го вида МТС p -го маршрута, км/ч; A_{tip} – число i -го вида МТС p -го маршрута в период суток t ; t_c – продолжительность t -го периода суток, ч; C_{nocmip} – постоянные затраты за один работы i -го вида МТС p -го маршрута, руб.; T_i – тариф за проезд на i -м виде МТС p -го маршрута, руб.; D_{ip} – приведенные среднесуточные дотации из городского бюджета (или иных источников), приходящиеся на i -й вид ПС p -го маршрута, руб.

Для удовлетворения требований перевозчиков и, как следствие, бесперебойного функционирования системы ГПТ необходимо ввести ограничение на показатель, определяемый формулой (5):

$$3_i \leq 1.$$

За показатель безопасности i -го вида МТС можно принять интегральный критерий безопасности, характеризующий потенциальную опасность i -го вида МТС, определяемый с учетом погибших и количества дорожно-транспортных происшествий, приходящихся на определенное количество МТС i -го вида.

Показатель экологической безопасности i -го вида МТС характеризует суммарную интенсивность выбросов токсичных веществ [4] и определяется по формуле:

$$3_i = \sum_{p=1}^P \left(\frac{\frac{C_{Aip}}{365T_{ci}\alpha_{aip}} + (3\Pi_{aip} + 3\Pi_{kip})t_{cmip} + \sum_{t=1}^l C_{ni}v_{aip}A_{tip}t_c + \frac{C_{nocmip}}{365\alpha_{aip}}}{\sum_{\eta=1}^N \Pi_{ip}^n \cdot T_{ip} + D_{ip}} \right), \quad (5)$$

$$\mathcal{E}_i = \frac{\sum_{p=1}^P q_{ip} N_{ip}}{Q_{don}} \text{ с ограничением } \mathcal{E}_i \leq 1,$$

где q_i – удельный выброс токсичных веществ i -го вида МТС p -го маршрута, приведенный к СО, кг/км; N_i – интенсивность потока i -го вида МТС p -го маршрута, ед/ч; Q_{don} – максимально

допустимое значение выбросов токсичных веществ i -го вида МТС, приведенное к СО, кг/км.

Предлагаемая математическая модель позволяет осуществлять расчет оптимального количества МТС различных видов в соответствии со спросом пассажиров, условиями рентабельности перевозок и требованиями дорожной и экологической безопасности.

30.04.2011

Список литературы:

1. Власов, Ю.Л. Моделирование спроса на различные типы пассажирских транспортных средств / Ю.Л. Власов, В.И. Рассоха // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – №6. – С. 205-211.
2. Рассоха, В.И. Совершенствование системы городского пассажирского транспорта на основе спроса пассажиров на транспортные средства / В.И. Рассоха, Ю.Л. Власов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2006. – №3. – С. 135-140.
3. Антошвили, М. Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / М.Е. Антошвили, С.Ю. Либман, И.В. Спирин. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.
4. Гудков, В. Общественный транспорт: экологический аспект / В. Гудков, В. Федоров, Г. Чернова // Стандарты и качество. – 2005. – №5. – С. 56-59.

Сведения об авторах:

Бочаров Иван Александрович, ассистент кафедры теоретической механики транспортного факультета Оренбургского государственного университета, e-mail: ivan021279@mail.ru

Власов Юрий Леонидович, доцент кафедры теоретической механики транспортного факультета Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, e-mail: ulvlasov@mail.ru

Рассоха Владимир Иванович, заведующий кафедрой автомобилей и безопасности движения транспортного факультета Оренбургского государственного университета,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: cabin2012@yandex.ru

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13 тел.: (3532) 756399; (3532) 75-41-82

UDC 656.01; 656.072; 656.1

Bocharov I.A., Vlasov Yu. L., Rassokha V.I.

Orenburg State University, e-mail: ulvlasov@mail.ru

MODEL OF DEFINITION THE OPTIMAL NUMBER OF ROUTE PASSENGER VEHICLES

The article analyses used earlier mathematical models and proposes a new model for determining the optimal number of route passenger vehicles, which is a function of four indicators the efficient functioning of urban passenger transport system depends on.

Key words: urban passenger transport, rolling stock, route, the passenger, the stopping point.

Bibliography:

1. Vlasov, Y.L. Modeling demand for different types of the passenger transport vehicles / Y.L. Vlasov, V.I. Rassokha // The Bulletin of the Orenburg State University, 2006. – №6. – p. 205-211.
2. Rassokha, V.I. Improvement of the system of urban passenger transport based on passenger demand for transport vehicles / V.I. Rassokha, Y.L. Vlasov // News of the Orenburg State Agrarian University. – 2006. – №3. – p. 135-140.
3. Antoshvili, M.E. Optimization of town bus transportation / M.E. Antoshvili, S.Y. Liberman, I.V. Spirin. – M.: Transport, 1985. – 102 p.
4. Gudkov, V. Public transport: ecological aspect / V. Gudkov, V. Fedorov, G. Chernova // Standards and quality. – 2005. – №5. – p. 56-59.