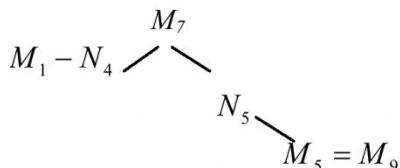


1 - шаг. Наименьшим расстоянием обладают точки M_5 и M_9 , образуется КД для $M_5 = M_9$.

2 - шаг. Сравниваем расстояния между оставшимися точками M_1 , M_7 и кратчайшим деревом $M_5 = M_9$. Соединяем точку M_7 и $M_5 = M_9$ через узловую точку N_5 . Полученное КД имеет структуру $M_7 = N_5 = M_5 = M_9$.

3 - шаг. Соединяем точку M_1 и КД полученной на 2-ом шаге. Структура КД имеет следующий вид:



III-е подмножество состоит из двух точек M_7 и M_6 . Соединяем и получим КД $M_6 = M_7$, то есть объединением все три подмножества и получаем конфигурацию кратчайшего дерева для девяти точек (рис. 2).

Следует отметить, что здесь возможны и другие структуры КД для заданных точек M_1, M_2, \dots, M_9 , в пределах зоны подвижности. Однако они имеют одинаковую протяженность.

Таким образом, такой подход расчета конфигурации автомобильных дорог позволяет построить несколько вариантов топологии сети и выбрать наилучший сеть отвечающий наперед заданным условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геометрические методы определения оптимальной конфигурации сетей автомобильных дорог. Труды международной конференции «Инженерное образование и наука в XXI веке, посвященной 70-летию КазНТУ имени К.И.Сатпаева. Индустриально-инновационное развитие экономики». Т.2., Алматы; КазНТУ, 2004. – С.155-160.
2. Есмуханов Ж.М. К вопросу построения связывающего дерева с расстоянием первого порядка // Сборник по вопросам математики и механики. - Алма-Ата: КазГУ, 1973. Вып.4. - С.32-407,
3. Куспеков К.А., Есмуханов Ж.М. Проблема Штейнера в пространствах с расстояниями первого порядка. Всесоюзная конференция «Компьютерная геометрия и графика в инженерном образовании». Н.Новгород, НПИ, 1991г.
4. Есмуханов Ж.М. Оптимальное решение одной многоэкстремальной задачи // Вестник АН Каз ССР. Алма – Ата, 1971 г. №1. с. 66 – 68.

Авторы статьи :

Волков

Владимир Яковлевич,
докт. техн.наук, проф., зав.каф.
«Начертательная геометрия, инже-
нерная и машинная графика», Си-
бирская государственная автомо-
бильно – дорожная академия г.Омск.
Email: volkov_vy39@mail.ru

Куспеков

Кайырбек Амиргазыулы,
канд. техн.наук, доцент,
зав. каф. «Начертательная геометрия
и графика» Казахский национальный
технический университет имени
К.И. Сатпаева, г. Алматы.
Email: kuspekov_k@mail.ru.
Тел.: 8 705 249 02 43

УДК 656.072

Ю.Н. Семенов, О.С. Семенова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ МАРШРУТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Оптимизация движения маршрутных транспортных средств в современных условиях не возможна без программного обеспечения. С его помощью можно моделировать различные ситуации (изменения пассажиропотока, стоимости пассажиро-часа, транспортных затрат), оптимизировать движение городского пассажирского транспорта (ГПТ).

Для исследования процедуры оптимизации системы городского пассажирского транспорта

методом моделирования, первоначально был сформирован блок исходных данных, отражающий фактическое состояние реальной системы ГПТ. В качестве моделируемой системы выбрана система городского пассажирского транспорта г. Междуреченска, прежде всего из-за наличия данных табличного обследования пассажиропотока. Кроме того, наличие в городе небольшого количества маршрутов позволяет оценить, проверить и внедрить на практике полученные результаты.



Рис.1. Коэффициент наложения пассажиропотоков на маршрутную сеть

Вся первичная информация получена во время натурного обследования пассажиропотока в г. Междуреченске, организованного Управлением по благоустройству, транспорту и связи с целью оценки качества обслуживания населения и эффективности работы автобусных маршрутов. Натурное обследование позволило получить информацию о количестве вошедших и вышедших пассажиров на каждом остановочном пункте маршрута. Информация заносилась в предварительно составленные таблицы. Справочная информация о маршрутах движения транспортных средств, используемом для перевозок подвижном составе, и т. д. была получена в УБТС г. Междуреченска. Первоначальная и справочная информация была помещена в таблицы “Рейс” (4400 записей), “Маршрут”, “Пассажиры”, “Остановки”, “Подвижной состав”, “Дата”, “Часы суток”, “Направление”, “Часы суток”, информация из которых необходима для формирования блока исходных данных.

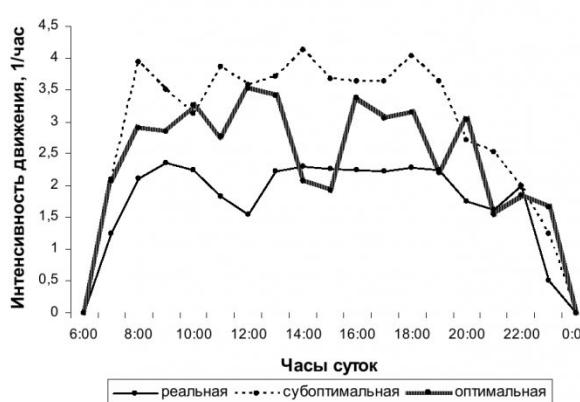
На основании данных о количестве вошедших и вышедших на каждом остановочном пункте каждого маршрута для каждого рейса была рассчитана матрица пассажирских межостановочных корреспонденций. Высокую производительность

при определении суммарных пассажиропотоков между остановочными пунктами (без учета маршрута) в каждый интервал времени позволил обеспечить запрос “Пассажиропоток между i и j остановками (по матрице)”. В результате была определена глобальная матрица пассажирских корреспонденций, размерность которой составляет 124×124 (по количеству остановочных пунктов в маршрутной сети). Изменяя значения элементов сформированной матрицы можно смоделировать различные ситуации, связанные с изменением пассажиропотоков между конкретными остановочными пунктами.

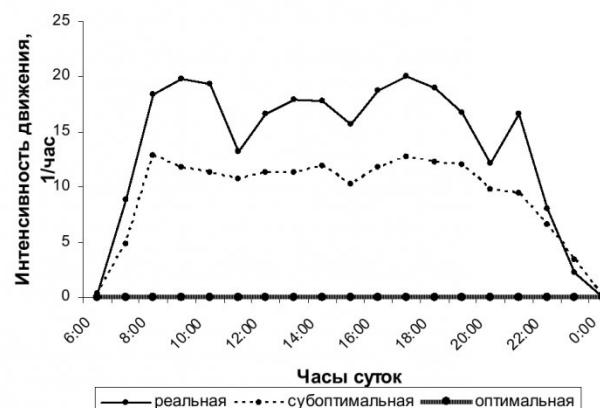
Для решения оптимизационных задач, учитывающих наложение маршрутов, необходим расчет

$$A_{i,j}^k = \begin{cases} 1, & \text{если } i_k \rightarrow j_k \\ 0, & \text{если } i_k \not\rightarrow j_k \end{cases}, \text{ так}$$

как перераспределение пассажиропотоков возможно только между теми маршрутами, которые пассажир может выбрать для перемещения к месту назначения. Таблица “ A_{ijk} ” рассчитанная для г. Междуреченска с помощью модуля “ b_2 Определение A_{ijk} ”, содержит 11 912 записей.



а)



б)

Рис.2. Распределение интенсивности движения по часам суток (будний день)
а) на маршруте №5, б) на маршруте №8

Расчет коэффициента наложения пассажиропотоков на маршрутную сеть позволяет выбрать решение оптимизационной задачи – с учетом или без учета наложения маршрутов. Для г. Междуреченска для всех временных интервалов значения коэффициента значительно превышает единицу (рис. 1), что говорит о целесообразности учета наложения маршрутов при оптимизации.

Программный комплекс позволяет решать математические задачи оптимизации движения ГПТ с использованием моделей изменения состояния элементов ГПТ при одинаковой и различной стоимости проезда. Для г. Междуреченска информация о количестве вошедших/вышедших пассажиров, относящихся к льготной категории населения, отсутствует. Так же не была собрана во время табличного обследования информация о стоимости проезда на каждом маршруте. Поэтому

во время испытания программного комплекса можно воспользоваться только моделью изменения состояния элементов ГПТ при одинаковой стоимости проезда.

Перед поиском оптимальной интенсивности движения рассчитывается стоимость одного пассажиро-часа (кроме задачи с учетом ограничения на транспортные затраты) и затраты на выполнение каждого рейса на маршруте. Для г. Междуреченска при решении задач, не учитывающих различную стоимость проезда, стоимость пассажиро- часа одинакова для всех категорий населения ($\gamma=50$ руб.).

Во время испытания программного комплекса были решены математические задачи как с учетом наложения маршрутов так и без учета. В результате решения оптимизационных задач без ограничений были определены реальные, субоптимальные

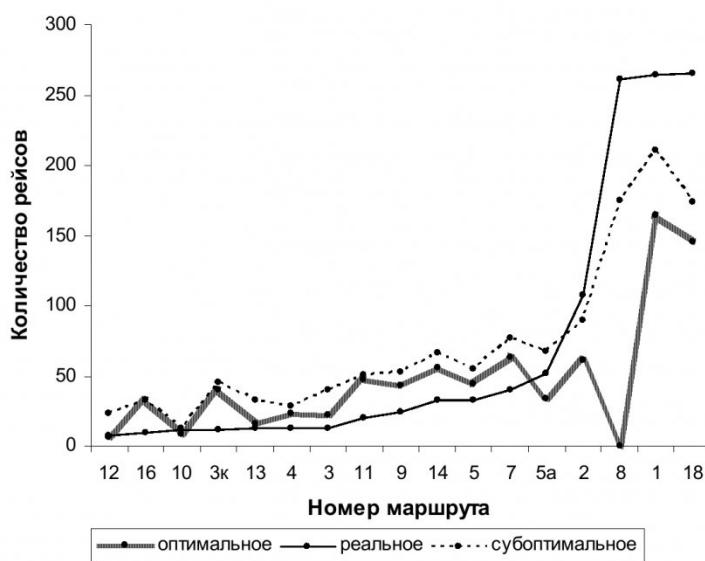


Рис.3. Количество рейсов при различных интенсивностях движения (будний день)

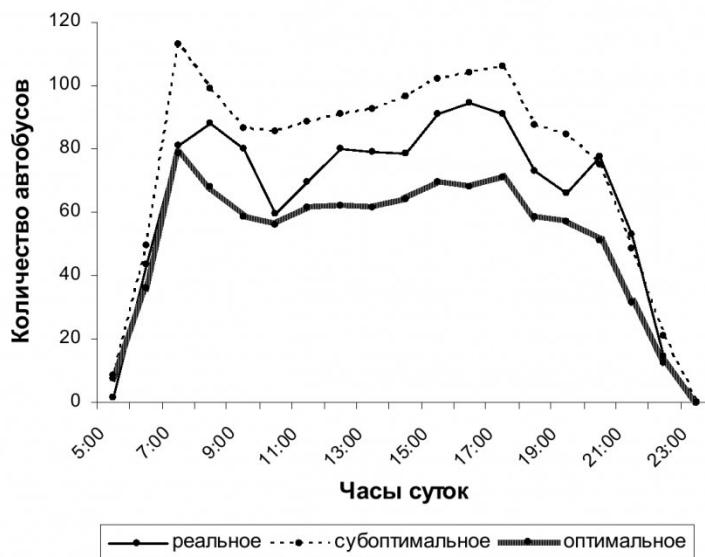


Рис.4. Количество автобусов (будний день)

(без учета наложения маршрутов) и оптимальные интенсивности движения транспортных средств по маршрутам для каждого интервала времени. Оптимальная интенсивность движения автобусов с учетом наложения маршрутов практически для всех маршрутов и всех интервалов времени меньше субоптимальной интенсивности.

Так, на маршруте №5 получена заниженная реальная интенсивность, при этом оптимальная интенсивность меньше субоптимальной (рис. 2, а). Для маршрута №8 получена оптимальная интенсивность движения автобусов близкой к нулю как в будний, так и в выходной день (рис. 2, б). Из этого можно сделать вывод об отсутствии необхо-

димости в этом маршруте, так как он без потерь для населения может быть заменен другими маршрутами.

После оптимизации с учетом наложения маршрутов суммарное количество рейсов уменьшается (рис. 3), и для осуществления перевозок требуется меньшее количество автобусов, чем до оптимизации (рис. 4).

После проведения оптимизации возникает необходимость оценить, как изменится наполняемость автобуса на перегонах маршрутов г. Междуреченска. При этом необходимо учесть, что в действительности на одном маршруте в определенный интервал времени могут работать транс-

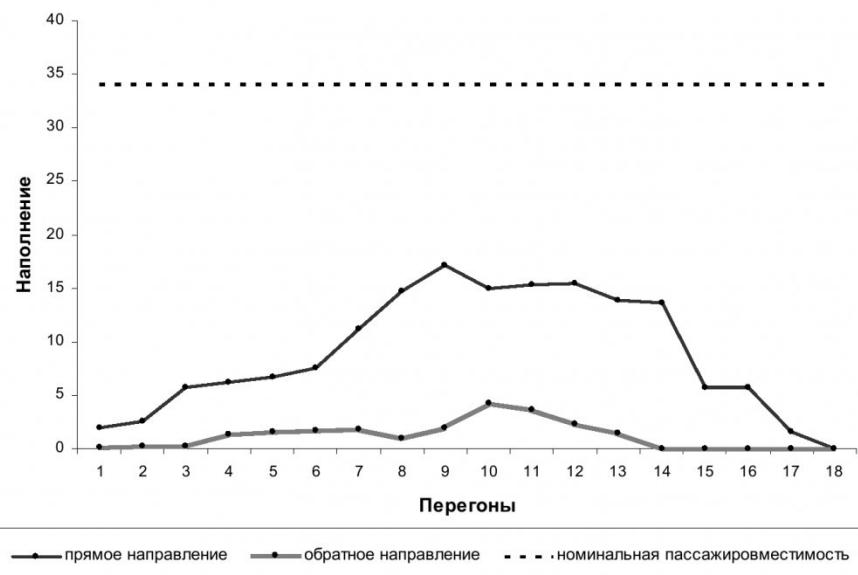


Рис.5. Наполнение на перегонах маршрута №10 (будний день, 17-18 часов)

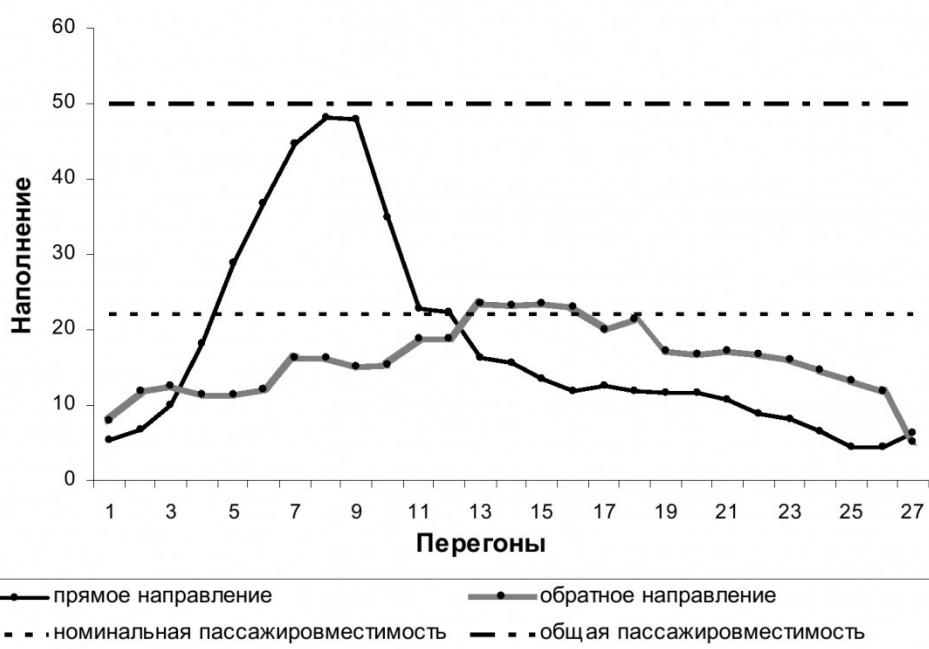


Рис.6. Наполнение на перегонах маршрута №12 (будний день, 7-8 часов)

портные средства различных марок. Поэтому предварительно было найдено среднее значение пассажировместимости автобусов, осуществляющих рейсы в определенный час суток на конкретном маршруте.

Анализ наполняемости салона автобуса на перегонах маршрутов показал, что даже без использования математической модели с ограничением на пассажировместимость, наполнение салона ни в одном случае не превышает общей пассажировместимости автобуса в часы пик. На маршрутах №№10, 2, 8, 14, 3, 3к, 4, 7, 16 наполнение на всех перегонах в любой интервал времени не превышает номинальной пассажировместимости, на маршрутах №№ 5а, 5, 18, 9, 12, 11, 13, 1 – общей пассажировместимости.

Кроме того, практически на всех проблемных маршрутах рейсы совершают автобусы ПАЗ-

32054 Р (однодверный) и ПАЗ-3205 (двухдверный), номинальная вместимость которых составляет 22 пассажира (по количеству мест для сидения). Так как в часы пик нереально обеспечить отсутствие стоящих пассажиров, то и наполнение салона будет превышать номинальное.

В качестве примера на рис. 5 изображен маршрут №10, наполнение на всех перегонах которого не превышает номинального значения, а на рисунке 6 – маршрут №12, наполнение на некоторых перегонах которого в отдельные временные интервалы больше номинальной пассажировместимости, но меньше общей в час пик.

Анализ полученной информации показывает, что наиболее перегруженными перегонами являются участки маршрутов около основных пассажирообразующих и пассажиропоглощающих остановочных пунктов, а наиболее загруженными

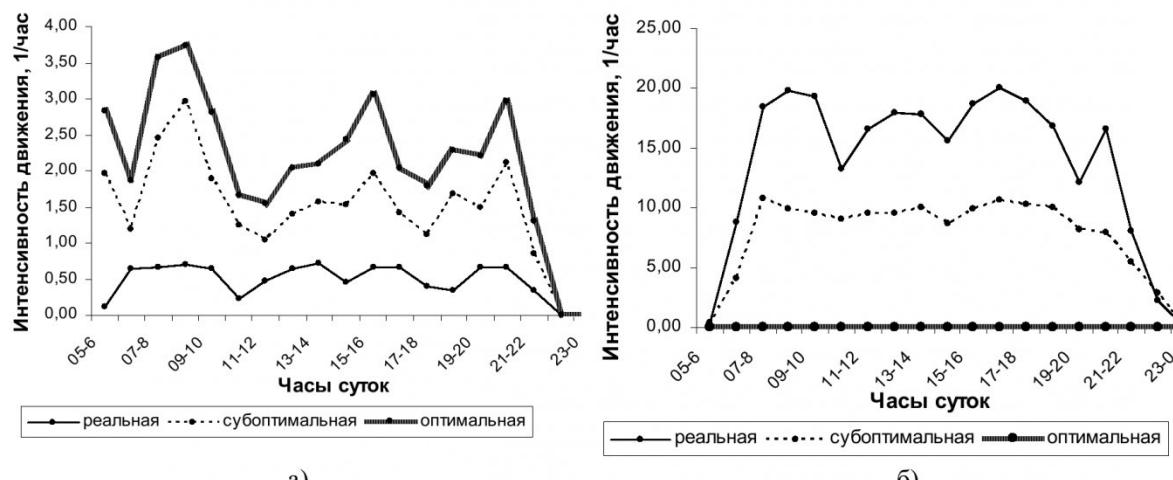


Рис.7. Распределение интенсивности движения по часам суток (будний день)
а) на маршруте №16, б) на маршруте №8 с ограничением транспортных затрат

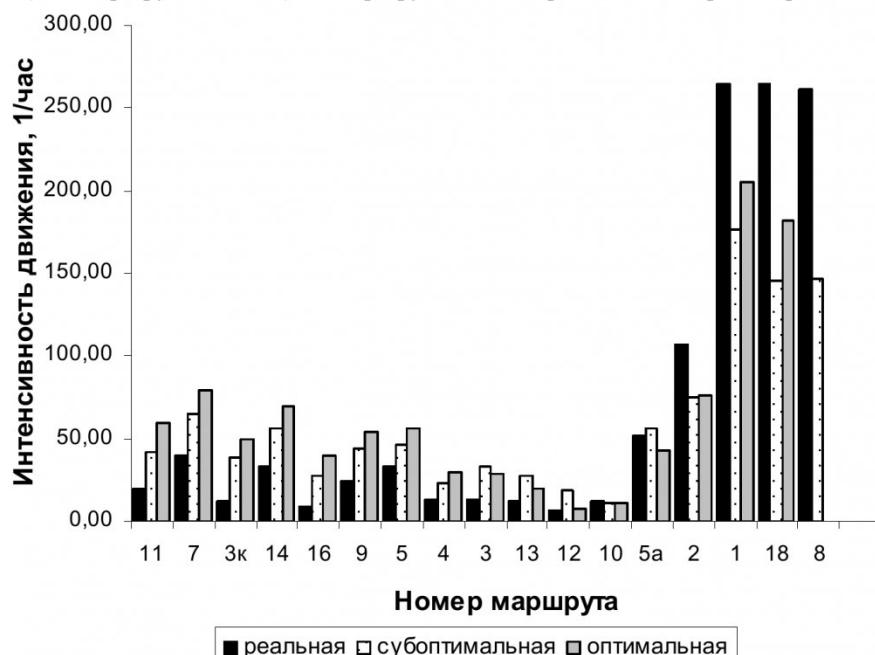


Рис.8. Распределение интенсивности движения по маршрутам

периодами времени – 7-9 и 17-18 час.

После анализа движения автобусов с оптимальной интенсивностью необходимо рассмотреть, к каким результатам приведет оптимизация. Для этого рассчитываются суммарные затраты на транспорт и потери времени пассажиров в стоимостном выражении при различных интенсивностях движения. Оптимизация без учета наложения маршрутов приводит к сокращению времени ожидания примерно в два раза, однако при этом требуется увеличить транспортные расходы. Учет наложения маршрутов позволяет сократить время ожидания на 30%, при этом транспортные расходы так же уменьшаются на 20%.

Решение задачи с ограничением на транспортные расходы на отдельных маршрутах г. Междуреченска приводит к следующим результатам: для маршрута №16 рекомендуется повысить интенсивность движения во всех временных интервалах (рис. 7, а); для маршрута №8 даже без учета частичного наложения других маршрутов рекомендуется снизить интенсивность движения (рис. 7, б).

На рис. 8 представлено перераспределение интенсивности движения транспорта по маршрутам г. Междуреченска. Сначала представлены маршруты, на которых требуется повысить интенсивность движения (с учетом наложения маршрутов). К маршрутам, финансирование которых необходимо увеличить, относятся маршруты №№11, 7, 3к, 14, 16, 9, 5, 4, 3, 13, 12. К маршрутам, на которых интенсивность движения требуется снизить (и, следовательно, уменьшить финансирование) относятся маршруты №№ 8, 18, 1, 2, 5а. Если при решении оптимизационной задачи не учитывать наложение маршрутов, то увеличить интенсивность движения необходимо на маршрутах №№11, 7, 3к, 14, 16, 9, 5, 4, 3, 13, 12 и 5а. На рис. 9 показано, что при сохранении текущего уровня финансирования АТП, суммарное количество ав-

тобусов на линии останется практически неизменным.

Суммарное количество рейсов за сутки на маршрутах города Междуреченска при реальной, субоптимальной, оптимальной интенсивностях движения приведено в табл. 1.

При тех же транспортных расходах оптимизация без учета наложения маршрутов дает экономию в 37% часов в будний день и 36,1% часов в выходной день, с учетом наложения маршрутов – 43,2 и 42,5% соответственно.

При решении оптимизационных задач при одинаковой стоимости проезда, используется постоянная стоимость пассажиро-часа для всех категорий населения (для г. Междуреченска ($\gamma=50$ руб.)). Однако если предположить, что транспортные средства двигаются по маршрутам с оптимальной интенсивностью (без учета наложения маршрутов), то можно оценить какова фактическая стоимость одного пассажиро-часа. Для этого можно воспользоваться зависимостью

$$\gamma = \frac{\mu_k^2 \alpha_k}{\lambda_k}.$$

Для маршрута №16 получаем заниженную стоимость пассажиро-часа: ни в одном временном интервале она не достигает значения 50 руб./час (рис. 10, а). Для маршрута №18 стоимость времени пассажиров, в большинстве случаев, завышена (рис. 10, б).

Из анализа исходных данных получен следующий результат: чаще всего имеет место недооценка стоимости времени пассажиров (маршруты №№ 11, 12, 13, 14, 16, 3, 3к, 4, 7, 9), хотя на некоторых маршрутах в определенные интервалы времени стоимость пассажиро-часа достигает 200-570 руб./час.

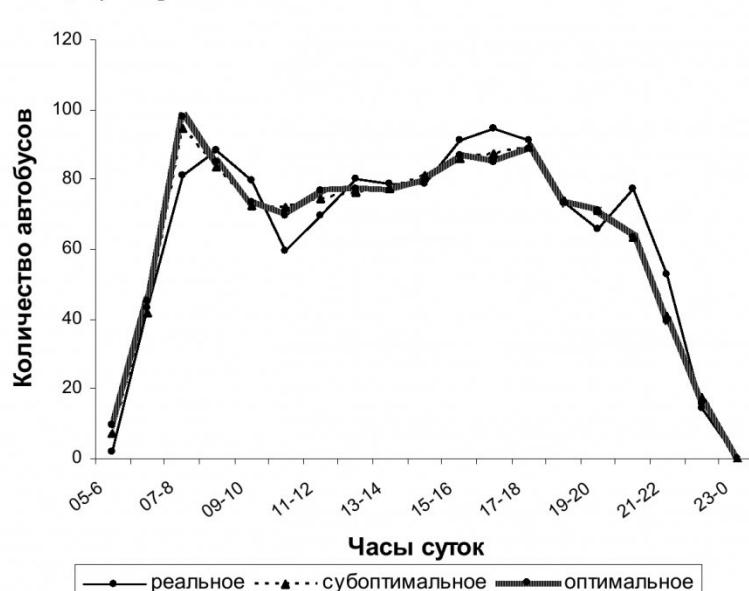


Рис.9. Рекомендуемое количество автобусов на маршрутах г. Междуреченска при фиксированных транспортных затратах

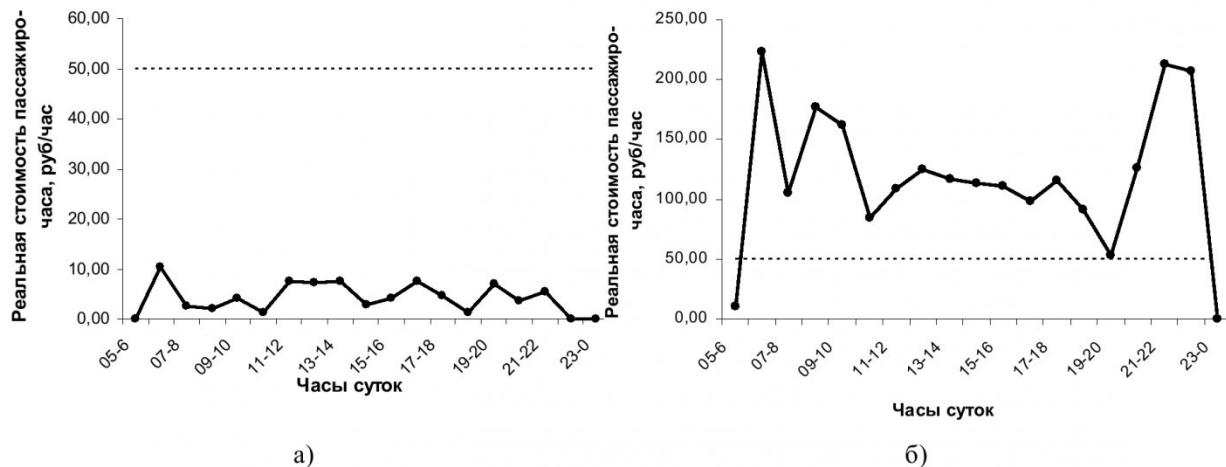


Рис.10. Распределение стоимости пассажиро-чasa по часам суток (будний день) а) на маршруте №16, б) на маршруте №18 (г. Междуреченск)

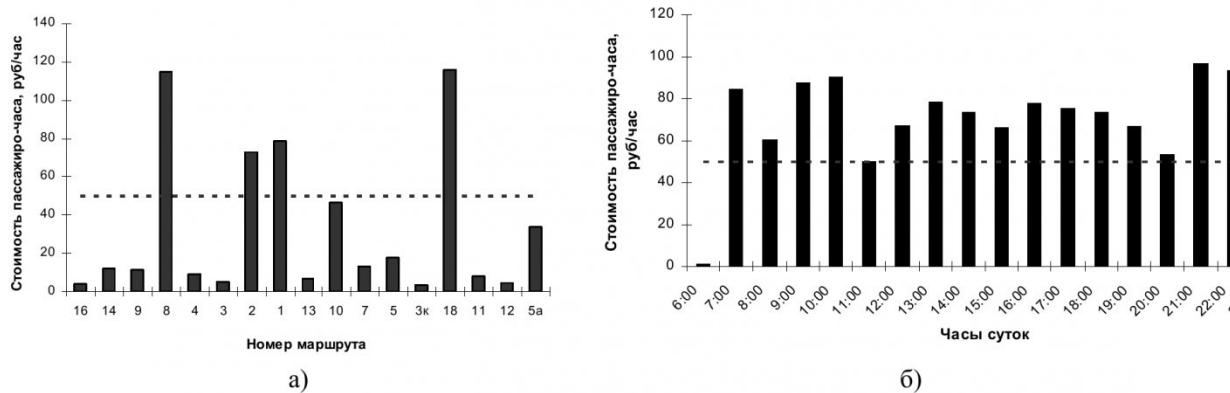


Рис.11. Распределение стоимости пассажиро-чasa: а) по маршрутам, б) по часам суток

Для каждого маршрута в целом за сутки стоимость пассажиро-чasa варьируется от 3,7 руб./час (маршрут №16) до 115,7 руб./час (маршрут №18)(рис. 11, а).

Кроме того, анализ статистических данных показывает, что стоимость пассажиро-чasa на маршрутах с большим пассажиропотоком завышена, а на маршрутах с малым пассажиропотоком – зани-

жена. В итоге для большинства временных интервалов получаем завышенную суммарную стоимость пассажиро-чasa (рис. 11, б).

Таким образом, представленные результаты позволяют сделать заключение о целесообразности использования методов моделирования для оптимизации движения городского пассажирского транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Города и районы Кузбасса : статистический сборник 2006 г. / Под ред. С. М. Григорьева, Г. Н. Рябцева, И. Ю. Пермякова [и др.]. – Кемерово, 2006. – 143 с.
- Корягин, М. Е. Оптимизация движения пассажирского транспорта / М. Е. Корягин // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2005. – №3. – С. 42-44.
- Лопатин, А. П. Моделирование перевозочного процесса на городском пассажирском транспорте / А. П. Лопатин. – М. : Транспорт, 1985. – 200 с.

□Авторы статьи:

Семенов
Юрий Николаевич,
канд. техн. наук, доц. каф. автомобильных
перевозок КузГТУ.
Тел. 8(3842)39-69-77

Семенова
Ольга Сергеевна,
канд. техн. наук, доц. каф. автомобильных перевозок КузГТУ.
Тел. 8(3842)39-69-77